



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## PŘEPLŇOVÁNÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ TURBOCHARGING OF COMBUSTION ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JIŘÍ KADLEČEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JAN VANČURA

BRNO 2011



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Jiří Kadleček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Přeplňování spalovacích motorů**

v anglickém jazyce:

### **Turbocharging of combustion engines**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je vytvoření rešerše na téma přeplňování spalovacích motorů.

Cíle bakalářské práce:

- Definujte účel přeplňování
- Popište známé mechanické systémy přeplňování
- Popište druhy regulace přeplňovacích systémů
- Popište využití přeplňování u soudobých spalovacích motorů a nové trendy v přeplňování
- Zhodnocení

Seznam odborné literatury:

- [1] HOFMANN, K. Turbodmychadla, vozidlové turbíny a ventilátory: Přepřňování spalovacích motorů. 2. vyd. VUT Brno: SNTL, 1985. 134 s.
- [2] HOFMANN, K. Alternativní pohony. Studijní opory, VUT FSI Brno, 2003. 73s.
- [3] BARTONÍČEK, L. Přepřňování spalovacích motorů, Studijní opory, Technická univerzita Liberec, 2004. 76s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Vančura

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 24.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty



## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce seznamuje s konstrukcí a funkcí základních typů mechanických systémů přeplňování. Dále se zabývá rozbořem regulačních prvků přeplňovacích systémů a v poslední kapitole také popisem nejnovějších trendů v oblasti přeplňování.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

přeplňování, turbodmychadlo, G-dmychadlo, Comprex, obtokový ventil, VGT.

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis presents the construction and function of the main types of mechanic turbocharging systems. Furthermore, it contains the analysis of regulating elements and the last chapter involves also the description of the newest trends in the field of turbocharging.

## **KEYWORDS**

turbocharging, turbocharger, G-lader, Comprex, wastegate, VGT





## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KADLEČEK, J. Přepřínování spalovacích motorů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 50 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Vančura.







## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Vančury a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2011

.....

Jiří Kadleček





## OBSAH

Úvod.....	13
1 Mechanické systémy přeplňování.....	15
1.1 Rootsovo dmychadlo .....	15
Konstrukce a princip .....	15
1.1.1 Použití .....	17
1.2 Lysholmovo dmychadlo.....	17
1.2.1 Konstrukce a princip.....	17
1.2.2 Použití .....	18
1.3 G -dmychadlo .....	19
1.3.1 Konstrukce a princip .....	19
1.3.2 Vlastnosti a použití .....	20
1.4 Odstředivé dmychadlo .....	21
1.4.1 Konstrukce a princip .....	21
1.4.2 Vlastnosti a použití .....	22
1.5 Turbodmychadlo.....	23
1.5.1 Konstrukce a princip .....	23
1.5.2 Použití turbodmychadel .....	28
1.5.3 Modifikace turbodmychadel .....	28
1.6 Comprex.....	29
1.6.1 Historie.....	29
1.6.2 Konstrukce a princip .....	30
1.6.3 Použití .....	33
2 Regulace přeplňovacích systémů .....	35
2.1 Obtokový ventil (wastegate) .....	35
2.1.1 Konstrukce a princip .....	35
2.1.2 Druhy ovládání obtokového ventilu .....	36
2.1.3 Použití .....	37
2.2 Variabilní geometrie lopatek turbodmychadla .....	37
2.2.1 Konstrukce a princip .....	37
2.2.2 Použití .....	38
2.3 Upouštěcí ventil .....	39
2.3.1 Konstrukce a princip .....	39
2.4 Anti lag system (ALS) .....	41
2.4.1 Princip .....	41
2.4.2 Použití .....	42



3	Využití přepínání u soudobých spalovacích motorů .....	43
3.1	Vznětové motory .....	43
3.2	Zážehové motory .....	44
	Závěr .....	45



## Úvod

Spolu se stále rozsáhlejší elektronickou a komfortní výbavou a vyšší pasivní i aktivní bezpečností automobilů roste také jejich hmotnost. Současně je cílem konstruktérů udržet dynamiku vozidel na stávající, ne-li vyšší úrovni. Toto klade zvyšující se nároky na pohonné agregáty automobilů. V zásadě existují tři cesty jak dosáhnout vyššího výkonu spalovacího motoru. Zvýšením otáček, zvětšením zdvihového objemu a přeplňováním.

S rostoucími otáčkami vykoná motor více cyklů a díky tomu se za jednotku času dostane do válců více vzduchu. Nevýhodou tohoto způsobu zvětšování výkonu jsou zvýšené nároky na přesnost a kvalitu výroby a použitých materiálů. Současně s tím klesá životnost jednotlivých dílů. Tento způsob je také velmi nevhodný pro naftové motory.

Zvětšování zdvihového objemu a potažmo i zvyšování počtu válců má za následek vyšší váhu samotného agregátu. Toto je v rozporu se snahou výrobců omezovat již tak velkou hmotnost automobilů.

Přeplňování se zdá být v současné době nejlepší volbou pro řešení zmíněného problému. Přeplňovaný motor o stejném výkonu jako atmosférický má menší hmotnost, nebo naopak mnohem vyšší výkon a kroutící moment než atmosférický motor o stejné hmotnosti. Toto nám umožňuje dosáhnout relativně vysokých výkonů i z kompaktních agregátů, které potom není problém umístit i pod kapotu komfortně vybavených, bezpečných, ale těžkých vozidel nižší střední třídy. Samotným přeplňováním rozumíme plnění motoru vzduchem o tlaku vyšším než atmosférickém. Rozlišujeme několik základních typů přeplňování.

Inerční, kdy využíváme dynamických jevů v sacím a výfukovém potrubí. Patří sem například rezonanční plnění, vířivé klapky nebo také střih ventilů.

Dále náporové plnění, kde zvýšení tlaku dosahujeme vysokou rychlostí jízdy. Používá se například u sportovních motocyklů.

A konečně přeplňování mechanickými kompresory, turbodmychadly, popřípadě jejich kombinací. V tomto případě využíváme buď mechanickou energii samotného motoru (Rootsovo, Lysholmovo dmychadlo atd.) nebo energii výfukových plynů (Turbodmychadlo, Comprex). Poslední zmíněný druh přeplňování popisuje tato bakalářská práce.

Snahou konstruktérů je zvýšení efektivního výkonu motoru. Toto je u přeplňování možné zvýšením efektivního středního tlaku na píst. K tomu je však nutné dodat do motoru větší množství paliva, jehož spálením se uvolní více energie, pro optimální spalování je nutné dodat adekvátní množství vzduchu a právě toto je účel přeplňování.





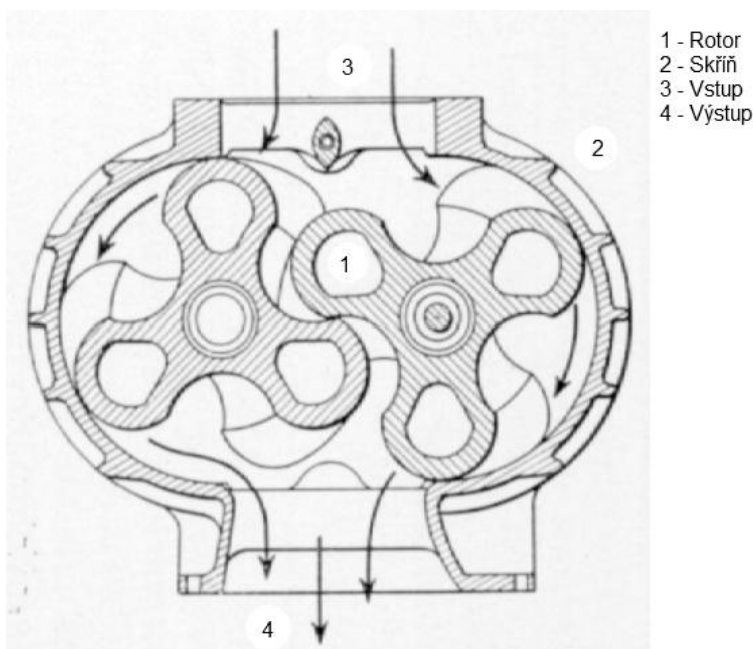
# 1 MECHANICKÉ SYSTÉMY PŘEPLŇOVÁNÍ

V této kapitole si popíšeme nejpoužívanější mechanické způsoby přeplňování. Nejvíce prostoru bude věnováno přeplňování turbodmychadly, u kterých jsme v posledních letech svědky rostoucího uplatňování v osobních automobilech a také přeplňování tlakovými vlnami z důvodu malého povědomí o tomto systému plnění motorů.

## 1.1 ROOTSOVO DMYCHADLO

### KONSTRUKCE A PRINCIP

Rootsovo dmychadlo, někdy taky označováno jako zubové, v anglicky mluvících zemích slangově nazýváno „blower“. Skládá se ze dvou proti sobě se otáčejících rotorů uložených ve valivých ložiscích a skříně, jež bývá pro zlepšení tuhosti a chlazení žebrovaná. Rotor je složen z hliníkového odlitku, jenž může být odlit přímo na ocelové hřídeli, nebo může být na tuto hřídel nalisován. Souběh rotorů je zajištěn ozubenými koly. Výhodné je použití ozubených kol se šikmými zuby, které zajišťují tišší chod soukolí. Ozubená kola jsou hnána prostřednictvím řemenu klikovou hřídelí. Některé části dmychadla jsou zobrazeny na obrázku 1. Rotory mohou mít různé tvary, nejčastěji používané jsou dvou až tří křídle, profilu je ve tvaru evolventy. Křídla neboli zuby rotoru dále mohou být přímé nebo šroubovitě, první jmenované jsou méně používané. U Rootsova dmychadla nedochází k žádnému kontaktu čili ani tření mezi jednotlivými komponenty. Radiální vůle mezi skříní a rotorem bývá v rozmezí 0,001 až 0,0015 největšího průměru rotoru. Vůle mezi oběma rotory je přibližně 0,0015 až 0,002 největšího průměru rotoru. Axiální vůle mezi skříní a rotory je 0,25 až 0,5 mm. Snahou



Obr. 1 Řez dmychadlem typu Roots [1]

konstruktérů je eliminovat vůle na minimum. Se zmenšujícími se vůlemi roste účinnost dmychadla.



Rootsovo dmyhadlo se od ostatních liší principem stlačení vzduchu. Rotory pouze dopravují určité množství vzduchu po obvodu skříně dmyhadla. Toto množství je za jednu otáčku vždy stejné. K samotné kompresi dochází až v sacím potrubí za kompresorem. Mezi výhody Rootsova dmyhadla bychom mohli zařadit kompaktní rozměry a schopnost zajistit dostatečný plnicí tlak už od nízkých otáček. Nevýhodou je menší účinnost, jež se dále snižuje s rostoucími otáčkami, pulsování stlačeného vzduchu, vyšší produkce hluku a tepla.

Pulsaci vzduchu za dmyhadlem můžeme předejít vhodným návrhem tvaru rotorů. Především větším počtem křídel rotorů a jejich šroubovitému tvaru. Nejnovější konstrukce z produkce firmy Eaton obsahuje čtyři křídla na jednom rotoru. Produkce nadměrného množství tepla je způsobena již samotným principem komprese nasávaného vzduchu a dále také zpětným prouděním části stlačeného vzduchu zpět k dmyhadlu. Tento vzduch má vyšší teplotu a ohřívá těleso dmyhadla. Abychom zabránili nasátí nadměrně teplého vzduchu do spalovacích prostor, používáme chladiče stlačeného vzduchu.



*Obr. 2 Rootsovo dmyhadlo [2]*

Na obrázku 2 je celkový pohled na dmyhadlo typu Roots. Vstup čerstvého vzduchu bývá zpravidla na vrchu skříně, výstup stlačeného vzduchu na spodu.





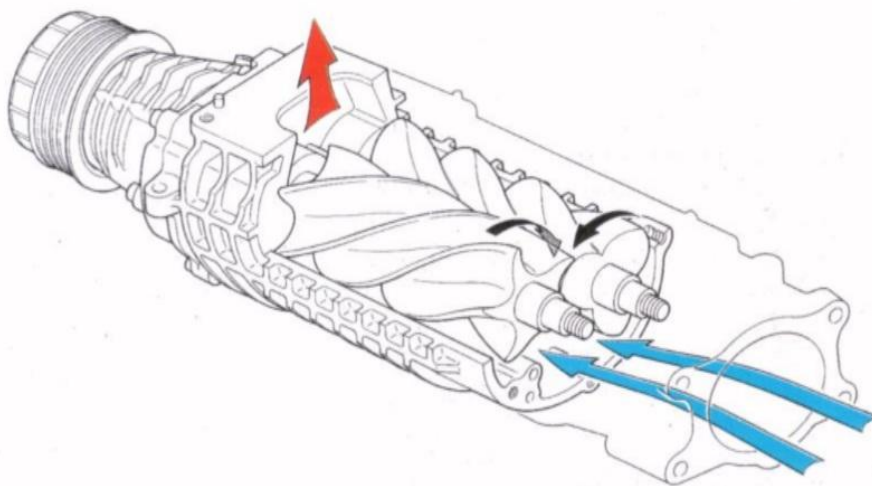
### 1.1.1 Použití

Rootsovo dmychadlo bylo zpočátku používáno pro dopravování vzduchu v průmyslových budovách. V automobilovém průmyslu bylo prvně uplatněno v roce 1900 Gottliebem Daimlerem. Díky jeho charakteristice, kdy maximálního plnicího tlaku dosahuje již při 2000 otáčkách za minutu, bývá používáno u konstrukcí, kde požadujeme zvýšení výkonu v nízkých otáčkách. Velké oblibě se těší v zámoří, kde je používáno ve spojení s velkoobjemovými osmiválci. Díky robustnímu designu bylo dmychadlo taktéž použito v produkčních vozech automobilek GM, Ford a Mercedes. [26, 27, 28, 29]

## 1.2 LYSHOLMOVO DMYCHADLO

### 1.2.1 KONSTRUKCE A PRINCIP

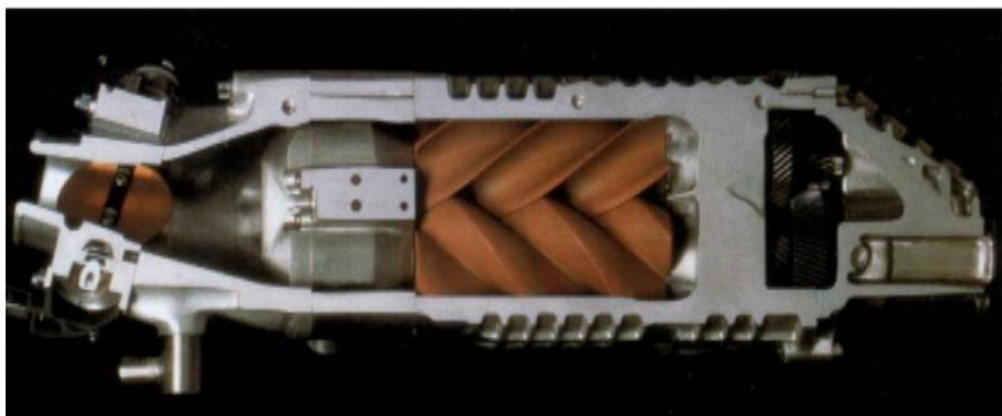
Lysholmovo dmychadlo, známé taktéž jako Šroubové dmychadlo má na první pohled velmi podobnou konstrukci jako dmychadlo Rootsovo. Hlavní rozdíl spočívá v tom, že toto dmychadlo vzduch pouze nedopravuje, ale díky jinému tvaru křídel jej taktéž stlačuje. Křídla mají podobný tvar jako u Rootsova dmychadla, jsou však více stočena do šroubovice a směrem od vstupu k výstupu se pracovní prostor zmenšuje. Právě díky této úpravě dochází u Lysholmova dmychadla k interní kompresi. Vzduch se nedopravuje po obvodu skříně, ale většinou vstupuje jejím čelem a dále putuje ve směru os rotorů v prostorách mezi zuby, viz obrázek 3. Princip stlačení vzduchu u tohoto dmychadla kladé větší nároky na konstrukci – tužší skříň a také na výrobní přesnost. Vůle mezi rotory a skříní musí být tak malá, aby nedocházelo k zpětnému pronikání vzduchu zpět k vstupu do dmychadla.



Obr. 3 Vyobrazení proudění vzduchu v Lysholmově dmychadle [3]



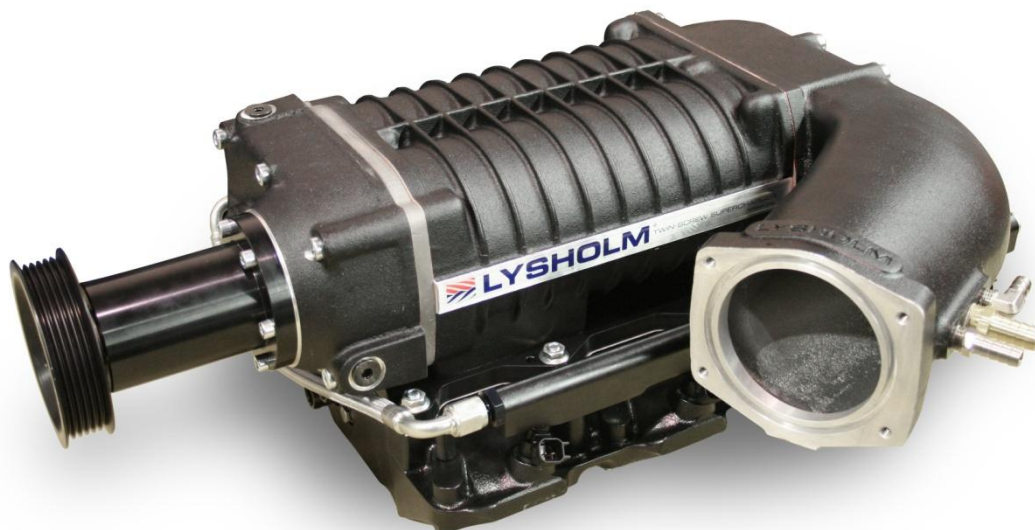
Mezi hlavní přednosti Lysholmova dmyhadla patří vyšší termická účinnost 70 – 80 % oproti 50 – 60 % u dmyhadla Rootsova. Vzduch je stlačen s větší účinností a použití mezichladiče stlačeného vzduchu je nevyhnutelné až při vyšších tlacích. Mezi nevýhody bychom mohli zařadit fakt, že dmyhadlo díky interní kompresi spotřebovává větší množství energie i při malém zatížení, dále také produkovaný hluk, který je ještě větší než u Rootsova dmyhadla a vyšší cenu.



*Obr. 4 Vnitřní uspořádání Lysholmova dmyhadla [4]*

### 1.2.2 Použití

Toto dmyhadlo bylo patentováno Heinrichem Krigarem v roce 1878 v Německu. Jméno pod, kterým je dnes známé vděčí až Švédskému konstruktérovi Alfu Lysholmovi, ten koncept dále vyvíjel a uvedl ho do podoby, v jakém jej známe dnes. Díky jeho „spodové“ charakteristice se používá u motorů, kde požadujeme nástup výkonu a kroutícího momentu již od nízkých otáček. Jeho konstrukce nám dovolí jej používat při vyšších tlacích a otáčkách. Stejně jako Rootsovo dmyhadlo se těší velké oblibě ve Spojených Státech Amerických. Na obrázku 5 je vyobrazeno Lysholmovo dmyhadlo použité ve voze Chevrolet Camaro SS, modelového roku 2010, 2011. [26, 27, 28, 29]



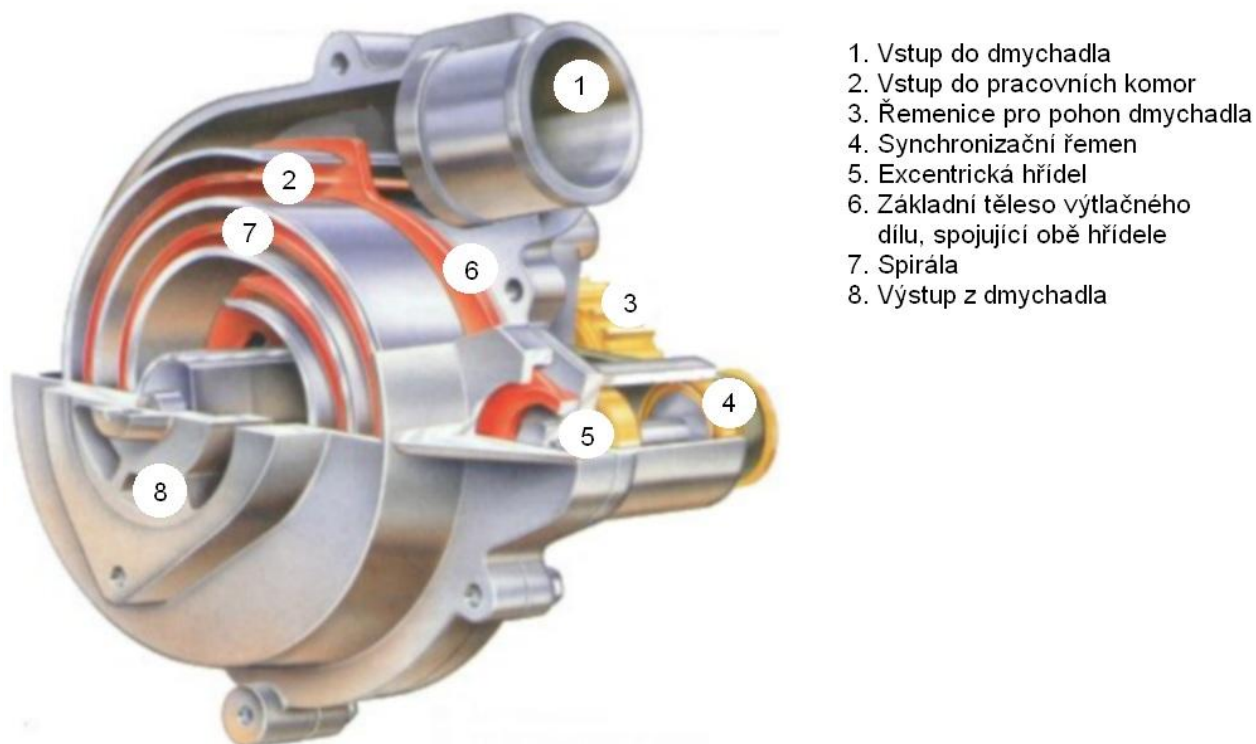
*Obr. 5 Celkový pohled na Lysholmovo dmychadlo [5]*

## 1.3 G -DMYCHADLO

### 1.3.1 KONSTRUKCE A PRINCIP

G dmychadlo, v zahraniční literatuře označované jako G-charger, či G-lader. Zvenčí připomíná odstředivý kompresor, jeho konstrukce je však zcela odlišná. Sestává se z dvoudílné skříně, jež má uvnitř spirálovité výběžky. Dále z dvou excentrických hřídelí a konečně z výtlačného dílu, který má taktéž spirálovitý tvar a zapadá do výběžků ve skříní. Výtlačný díl je přes ložiska usazen na obou excentrických hřídelích, které jsou navíc spojeny řemenem a tím pádem synchronizovány. Výtlačný díl má dělicí rovinu, z níž vycházejí dvě spirály, vytváří tak spolu s protikusy ve skříní celkem osm pracovních komor. Spirálové výběžky mají na svých koncích těsnění sloužící k utěsnění pracovního prostoru komor. Sací kanál je většinou umístěn tečně k ose dmychadla, výtlačný pak v jeho ose.

Princip stlačení vzduchu u tohoto dmychadla si popíšeme ve čtyřech fázích. V první fázi dochází ve vnitřní komoře k sání vzduchu a ve vnější zároveň k jeho stlačení. V druhé fázi, kdy se výtlačný díl otočí o 90° kolem osy excentricity dochází k uzavírání vnitřní komory a současně k vypouštění stlačeného vzduchu z vnější komory do výstupu z dmychadla. Ve třetí fázi, po 180 stupních, je vnitřní komora utěsněna a dochází v ní ke stlačování vzduchu. Ve vnější komoře dochází k sání čerstvého vzduchu. Ve čtvrté fázi, po 270 stupních dochází ve vnitřní komoře k vytlačování stlačeného vzduchu, vnější komora se uzavírá. Cyklus je dokončen a celý proces se znovu opakuje.



1. Vstup do dmyhadla
2. Vstup do pracovních komor
3. Řemenice pro pohon dmyhadla
4. Synchronizační řemen
5. Excentrická hřídel
6. Základní těleso výtlačného dílu, spojující obě hřídele
7. Spirála
8. Výstup z dmyhadla

Obr. 6 Řez G-dmyhadlem [6]

### 1.3.2 VLASTNOSTI A POUŽITÍ

Otáčky G dmyhadla jsou o řád nižší (15000 ot. / min.) než u turbodmyhadla a zároveň nemusí být při jeho výrobě dosahováno takové přesnosti jako například u Lysholmova dmyhadla, přesto všechno však k velkému rozšíření v sériové produkci nedošlo. Některé zdroje uvádějí, že pro správnou funkci a vyvarování se poškození či destrukci dmyhadla je vhodné každých 100 až 120 tisíc kilometrů provést repasi. Nejčastějšími příčinami poškození dmyhadla jsou opotřebované ložiska, kdy vzniklá vůle může být tak velká, že dojde ke kolizi výtlačného dílu se stěnami skříně. Stejná situace nastane, pokud se přetrhne či přeskočí synchronizační řemen excentrických hřídelí, viz obr. 7. Nejvíce namáhanou součástí dmyhadla je těsnění pracovních komor, při jeho poškození nedochází k tak fatálním následkům jako u výše zmíněných závad, dochází však k poklesu plnicího tlaku, což může mít nepříznivý vliv na chod motoru.

G-dmyhadlo, jehož název je odvozen od tvaru spirálních stěn bylo patentováno v roce 1905 ve Francii. Dlouhou dobu však technologie nebyla na takové úrovni, aby dovolila sériovou výrobu. Té se dočkalo až v osmdesátých letech minulého století, kdy jej automobilka Volkswagen použila ve svých modelech Polo, Golf, Corrado a Passat. K většímu uplatnění nedošlo. [30, 31]





Obr. 7 Poškozený výtlačný díl [7]

## 1.4 ODSŘEDIVÉ DMYCHADLO

### 1.4.1 KONSTRUKCE A PRINCIP

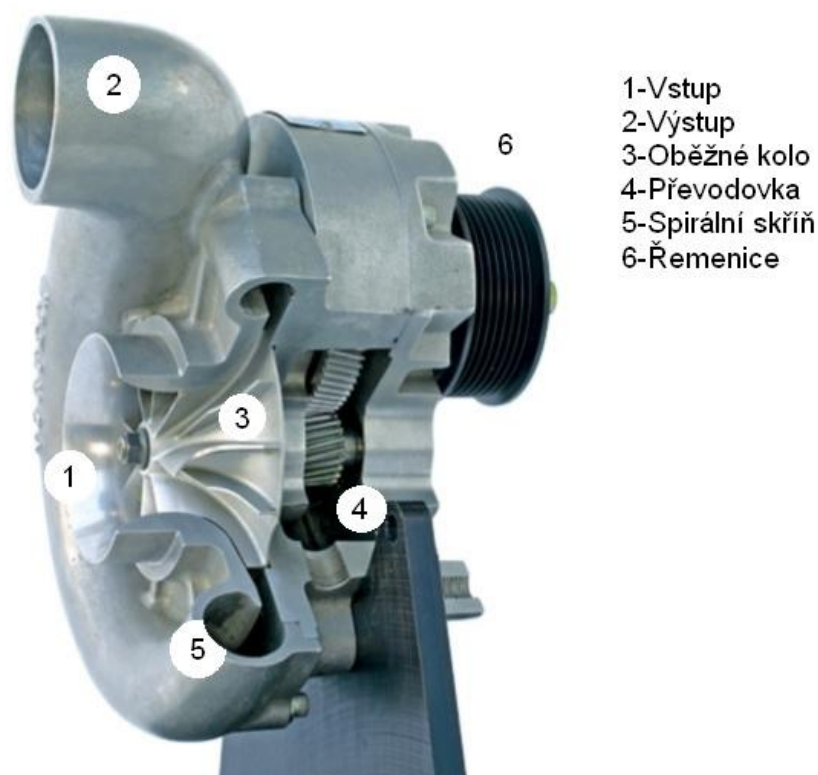
Odstředivé dmychadlo, v zahraniční literatuře označované jako Centrifugal supercharger má princip stlačení vzduchu stejný jako turbodmychadlo, kterým se budeme zabývat níže. Odstředivé dmychadlo se skládá ze dvou hlavních částí. Těmi jsou kompresor a převodovka. Kompresor sestává ze vstupní části, oběžného kola, difuzoru, spirální skříně a výstupního hrdla. Pro potřeby automobilového průmyslu se používají oběžná kola s lopatkami zahnutými dozadu, proti směru otáčení kola, která dosahují největšího zvýšení tlaku a nejmenšího zvýšení rychlosti. Difuzor může být dvojího typu, lopatkový a bezlopatkový. Bezlopatkový se umísťuje hned za oběžné kolo, slouží k uklidnění vzduchu, jenž vstupuje do lopatkového difuzoru. Za lopatkovým difuzorem může být zařazen další bezlopatkový difuzor, který slouží k uklidnění vzduchu před vstupem do spirální skříně. Popsané části dmychadla lze vidět na obrázku 8.

Převod je ve většině případů řešen ozubeným soukolím, na vstupní hřídeli je upevněna řemenice. Hlavní rozdíl oproti turbodmychadlu spočívá v pohonu oběžného kola, které je u tohoto kompresoru poháněno přes řemenový převod klikovou hřídelí.

Komprese probíhá následovně: Čerstvý vzduch je nasán do vstupního hrdla, poté putuje dále na lopatky oběžného kola, toto mu udělí svým pohybem kinetickou energii. Dochází ke značnému zvýšení rychlosti média, mírnému vzrůstu tlaku a teploty. Vzduch proudí přes difuzor, kde se mění téměř většina kinetické energie na energii tlakovou, dochází zde k velkému poklesu rychlosti, nárůstu tlaku a zvýšení teploty. Takto stlačený vzduch dále



putuje do spirální skříně, kde ještě dochází k mírnému zvýšení teploty a tlaku, poté je odveden do výstupního hrdla.



Obr. 8 Řez odstředivým dmychadlem [8]

#### 1.4.2 VLASTNOSTI A POUŽITÍ

Odstředivé dmychadlo je kompaktních rozměrů, je tedy snadné jej umístit v motorovém prostoru. Jediné omezení je nutnost napojení na klikovou hřídel motoru. Otáčky tohoto dmychadla jsou vyšší než u předchozích typů kompresorů, přesahují hodnotu 40000 otáček za minutu. Toto klade velké nároky na přesnost uložení hřídele rotoru a především pak na převod ozubenými koly.

Mezi hlavní nevýhody bychom mohli zařadit neschopnost dosahovat vysokého plnicího tlaku v nízkých otáčkách. Tlak u tohoto dmychadla roste exponenciálně s otáčkami motoru, největšího tlaku tedy dosáhneme v nejvyšších otáčkách. Toto koliduje s požadavky na průběh výkonu a kroutícího momentu v soudobých vozidlech a proto se toto dmychadlo v sériové produkci u běžných vozidel téměř nepoužívá. Mezi další nevýhody patří zvýšená hlučnost daná použitím převodovky s ozubenými koly, někteří výrobci řeší tento problém použitím řemenového převodu, řešení je to však ojedinělé, nejvíce používaná jsou stále ozubená kola.

Výhodou je dobrá termická účinnost (70-85%), což jej spolu s jeho charakteristikou předurčuje k použití u motorů, kde požadujeme vysoký plnicí tlak ve vyšších otáčkách. Jak už bylo zmíněno výše, u sériových vozů se téměř nepoužívá. Nejčastěji ho můžeme vidět v závodních vozech a také ve speciálních přestavbových kitech pro vozy s atmosféricky plněnými motory. Pro tento účel je mnohem vhodnější než Rootsova či Lysholmova



dmychadla a taktéž turbodmychadla. Nepotřebuje například napojení na výfukové potrubí, je kompaktních rozměrů, vyzařuje méně tepla než výše zmíněná dmychadla. Na obrázku 9 lze vidět odstředivé dmychadlo, dodatečně instalované na motoru vozu Dodge Viper SRT – 10. [32]



*Obr. 9 Dodatečně instalované odstředivé dmychadlo [9]*

## 1.5 TURBODMYCHADLO

### 1.5.1 KONSTRUKCE A PRINCIP

Turbodmychadlo sestává ze tří hlavních částí: kompresoru, turbíny a ložiskové skříně. Kompresorem jsme se detailně zabývali v kapitole Odstředivé dmychadlo. Z toho důvodu jej v této kapitole vynecháme.

#### TURBÍNA

Rozeznáváme dva hlavní typy turbín, axiální a radiální. U axiálních turbín proudí médium pouze ve směru osy rotoru, u radiálních proudí plyny dostředivě, médium vstupuje kolmo na osu rotoru a vystupuje rovnoběžně s ní. Do 160 mm největšího průměru turbíny se používají pouze turbíny radiální, toto přibližně odpovídá výkonu 1000 kW na jedno turbodmychadlo.

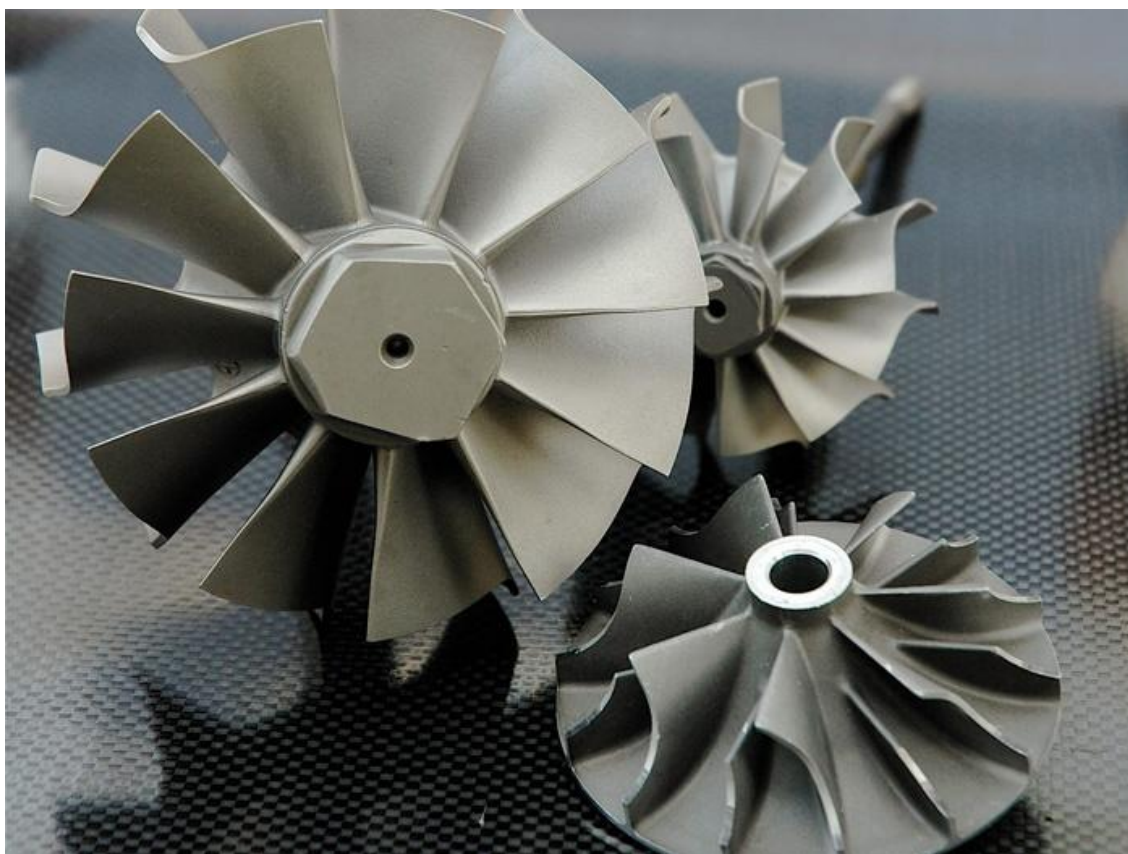




Axiální turbíny se používají od průměru 300 mm a výše. Mezi těmito dvěma hodnotami je možné použití obou typů turbín. V automobilovém průmyslu se používají výhradně radiální turbíny.

Turbína se skládá ze statorové a rotorové části. Stator je u radiální turbíny složen ze vstupní turbínové skříně, která může ve směru kolmém na osu rotoru přecházet v bezlopatkové rozvaděcí ústrojí, anebo v lopatkové rozvaděcí kolo. Plyny do turbíny proudí vstupní skříní. V rozvaděcím ústrojí se zvýší jejich rychlost, dále pak putují na lopatky rotoru, kde dojde k předání energie plynů. To má za následek roztočení rotoru. Ten je pevně spojen s hřídelí, na jejímž druhém konci je upevněno rozvaděcí kolo kompresoru. Rotor turbíny vypadá na první pohled velmi podobně jako rozvaděcí kolo kompresoru, jeho tvar je však uzpůsoben pro vstup média v radiálním směru.

Celá turbína je vystavena velmi vysokým teplotám. U vznětových motorů 700 °C a u zážehových dokonce 900°C. Toto klade velmi vysoké nároky především na rotor turbíny. Ten musí být vyroben ze žárovevných ocelí. Rotor se většinou vyrábí technologií přesného lití, v některých případech se jeho pracovní plochy obrábějí. Skříň turbíny je stejně jako rotor vystavena velkému tepelnému namáhání, musí být tedy taktéž vyrobena ze žárovevných ocelí. Výhodou oproti rotoru je menší mechanické namáhání skříně.



*Obr. 10 Turbíny různých velikostí, v popředí leží oběžné kolo kompresoru [10]*

## LOŽISKOVÁ SKŘÍŇ





Ložisková skříň je další důležitou součástí turbodmychadla, za pomoci axiálních a radiálních ložisek zachycuje síly vzniklé rotací oběžných kol. Jsou k ní upevněny skříň kompresoru a turbíny a umožňuje také mazání zde uložených ložisek. V následujících řádcích si popíšeme jednotlivé součásti.



*Obr. 11 Ložisková skříň s oběžným kolem a turbínou [11]*

Ložiska turbodmychadla jsou vzhledem k dosahovaným otáčkám (až 300000 ot./ min), vysoce namáhanou součástí. Nejprve se budeme zabývat radiálními ložisky, která zachycují síly od rotorů kolmé na jejich osu otáčení. V současné době se používají tři typy radiálních ložisek. Kluzná ložiska pro běžné použití v osobních vozech, kuličková ložiska vyvinutá firmou Garrett, která zajišťují rychlejší náběh turbodmychadla a keramická válečková ložiska vyvinutá firmou Turbonetics, která umožňují použití většího oběžného kola kompresoru.

Kluzná ložiska se vyrábějí obecně z materiálů s nízkým koeficientem tření. Vnitřní a vnější kroužky ložiska se vzájemně nedotýkají, je mezi nimi vůle o velikosti několika setin milimetru. Tuto vůli vyplní olej, vnitřní kroužek ložiska se tedy pohybuje po tenkém olejovém filmu. Další funkcí olejového filmu je tlumení menších rázů vzniklých chodem turbodmychadla. Použití kluzných ložisek má své výhody i nevýhody. Výhodou je například nízká cena, kompaktní rozměry, nevýhodou je pomalejší rozběh dmychadla a větší náchylnost na kvalitu použitého oleje.



*Obr. 12 Kluzná ložiska turbodmychadla [12]*

Jak již bylo řečeno, turbodmychadla výrobce Garrett s kuličkovými ložisky byla vyvinuta za účelem zkrácení náběhu turbodmychadla a zvýšení odolnosti a životnosti. Výhody tohoto systému vyniknou nejvíce v běžném provozu, kdy je reakce na plyn a pružné zrychlení lepší, než u turbodmychadla se stejnými parametry, ale s kluznými ložisky. Nevýhodou turbodmychadla s kuličkovými ložisky je citelně vyšší cena.



*Obr. 13 Kuličkové ložisko turbodmychadla [13]*

Turbodmychadla výrobce Turbonetics obsahují keramická válečková ložiska pouze na straně kompresoru, na straně turbíny jsou klasická kluzná ložiska. Toto umožňuje použití větších a těžších oběžných kol kompresorů, která na ložiska kladou větší nároky. Vedlejším efektem je, i přes použití těchto ložisek jen na jedné straně, zmenšení třecích ztrát. Cena těchto turbodmychadel je vyšší než u klasických, není ale tak vysoká jako turbodmychadel s kuličkovými ložisky.

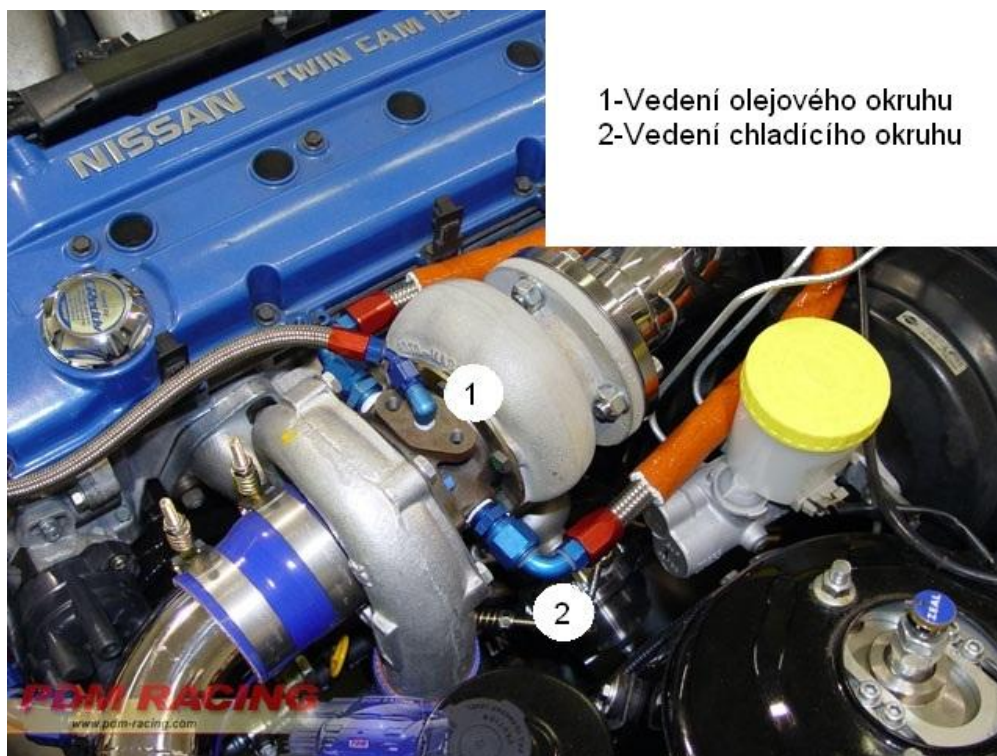


Axiální ložisko zachycuje síly působící v ose rotoru. Většinou bývá umístěné u kompresorové skříně, kde je k němu dobrý přístup a je méně tepelně namáhané.

Turbodmychadlo je napojeno na mazací systém samotného spalovacího motoru. Vstup oleje by měl být pokud možno umístěn na horní straně ložiskové skříně, výstup na straně dolní. Firma Borg Warner uvádí, že u jejich turbodmychadel proudí olej do ložiskové skříně pod tlakem přibližně čtyři bary. Výstupní kanál musí být mnohem větší než kanál vstupní, je to dáno tím, že olej, který projde ložisky má menší tlak.

Pro správnou funkci mazání turbodmychadla je vhodné nechat motor vystavený vysoké zátěži zchladit klidnou jízdou, nebo během motoru na volnoběh. Jestliže motor ihned vypneme, dochází v rozpáleném turbodmychadlu k velké degradaci oleje a jeho připékání na stěny olejového potrubí. Toto má za následek zúžení průtočného průřezu kanálků a může docházet k úniku oleje skrz těsnění do kompresoru nebo turbíny. Podobný efekt mají příliš velké intervaly výměny oleje, kdy dochází k jeho degradaci a houstnutí. Olej pak jednak nesprávně maže a se zvětšující se viskozitou roste tlak ve výstupním potrubí z turbodmychadla a dochází opět k průsaku oleje do pracovních prostor. Toto se projevuje zvýšenou kouřivostí, kdy z výfuku vychází charakteristický modrý dým a také zanášením a znečišťováním funkčních členů sacího potrubí.

Pro zajištění delší životnosti turbodmychadla, jsou některé ložiskové skříně vodou chlazené. Za chodu agregátu jsou napojeny na jeho chladicí okruh. Po vypnutí motoru je zbytkové teplo odváděno menším chladicím okruhem, který je poháněn termostaticky ovládaným elektrickým čerpadlem. Na obrázku 14 je vodou chlazené turbodmychadlo dodatečně instalováno na motoru KA24DE.



1-Vedení olejového okruhu  
2-Vedení chladicího okruhu

Obr. 14 Vodou chlazené turbodmychadlo [14]



### 1.5.2 POUŽITÍ TURBODMYCHADEL

Turbodmychadla byla nejdříve využívána v první světové válce v motorech letounů, kde dodávala motoru dostatečné množství vzduchu i ve větších výškách. V průběhu let docházelo k prvním aplikacím v nákladních automobilech či lodích. Pro nás nejzajímavější éra však začíná v 80-tých letech kdy dochází k masovým aplikacím v automobilovém průmyslu. Mezi legendy už dnes patří přemotorované rallye vozidla skupiny B a monoposty formule 1, které při kvalifikaci dosahovaly výkonu až 1500 koňských sil. S koncem této éry poptávka po turbomotorech poklesla. Jejich renesance započala v půlce devadesátých let, kdy došlo k masové produkci naftových turbomotorů v osobních vozech. S jejich použitím mají naftové motory lepší účinnost, průběh výkonu a krouticího momentu a také menší spotřebu paliva. V současné době jsme svědky rostoucí poptávky po benzínových motorech s turbodmychadlem. Spolu se stále většími požadavky na bezpečnost a komfort automobilů, roste také jejich hmotnost a výrobci se snaží udržet jízdní dynamiku na rozumné úrovni. Přepřňovaný motor o menším objemu se tak stává dobrou alternativou vůči atmosférickým víceválcům, které v minulosti obstarávaly pohon těžších vozidel.

### 1.5.3 MODIFIKACE TURBODMYCHADEL

#### TWIN SCROLL

U turbodmychadel, jež jsou vybaveny technologií Twin Scroll je modifikovaná turbínová skříň. Namísto jednoho vstupního kanálu, jsou zde kanály dva. U turbodmychadel s jedním kanálem jsou nestejně dlouhé výfukové svody od jednotlivých válců spojeny v jednom místě. Díky tomuto může dojít k negativnímu ovlivňování jednotlivých proudů spalín. Ve válcích dochází k horšímu vyplachování, snižuje se rychlost spalín a turbíně dmychadla je tedy předáno méně energie.

U turbodmychadel se dvěma kanály jsou nejčastěji stejně dlouhé svody spojeny v jeden a odděleny od ostatních s větší či menší délkou. Ty jsou poté svedeny do turbínové skříně dmychadla. Toto nám dovoluje zachovat kompaktní velikost výfukových svodů a zároveň nedochází k negativnímu ovlivňování jednotlivých proudů výfukových plynů. Díky lepšímu vyplachu se do válců dostane více vzduchu, roste objemová účinnost motoru.

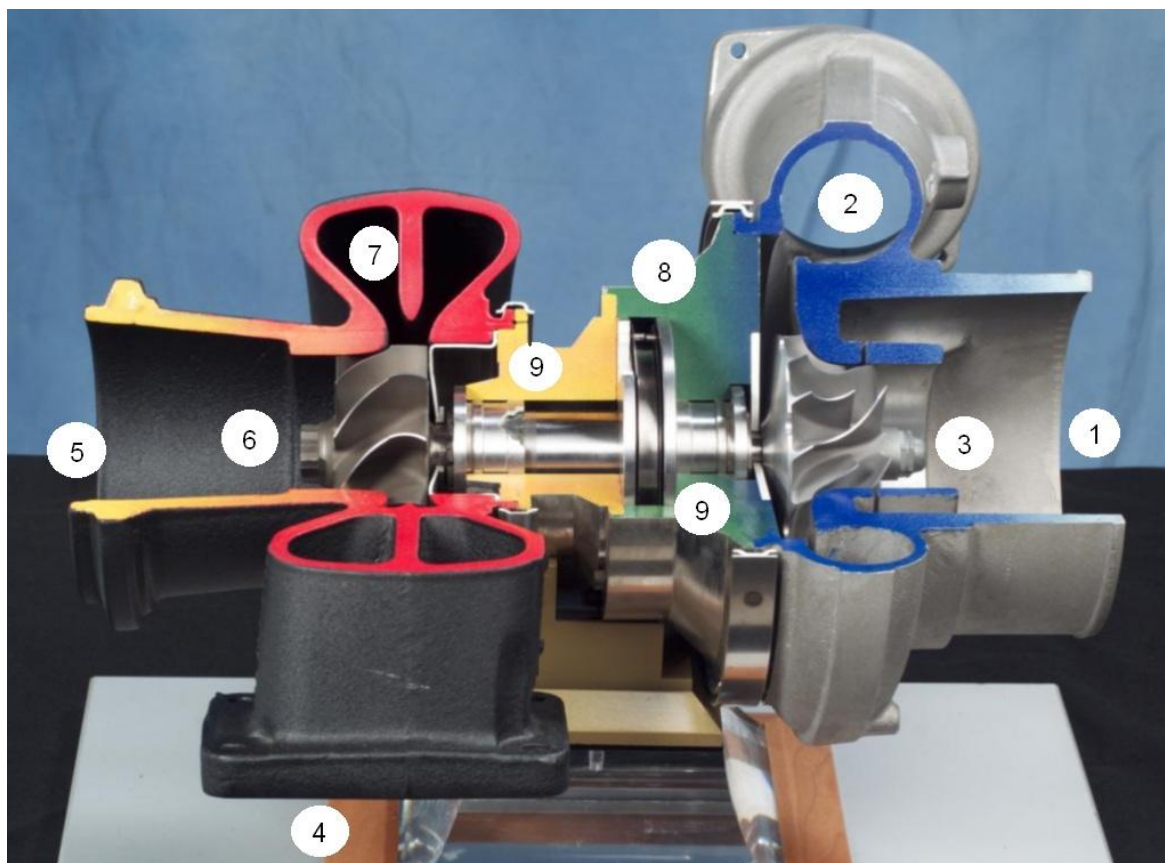
#### VÍCESTUPŇOVÉ PŘEPLŇOVÁNÍ

V automobilovém průmyslu hovoříme nejčastěji o dvoustupňovém přepřňování, a to v sériovém a paralelním zapojení turbodmychadel.

U sériového zapojení jsou použita dvě nestejně velká turbodmychadla. Menší turbodmychadlo zajišťuje dostatečný plnicí tlak při nízkých otáčkách motoru. Po překročení určitých otáček je však proud spalín tak velký, že se malé turbodmychadlo roztáčí nad únosnou mez a nedokáže efektivně stláčet vzduch. Za pomoci obtokových ventilů pozvolna dochází k přemostění proudů spalín na velké turbodmychadlo a malé se tím vyřazuje z činnosti. Velké turbodmychadlo se roztáčí a dochází k dalšímu efektivnímu plnění motoru. Výhodou tohoto zapojení je velmi dobrý průběh výkonu a krouticího momentu, přičemž velkého krouticího momentu je možné dosáhnout již při velmi nízkých otáčkách motoru.

Paralelní zapojení se používá nejčastěji u šesti a více válcových motorů do V. Při použití pouze jednoho turbodmychadla by bylo velmi komplikované a prostorově náročné napojit všechny svody do jedné příruby. Používá se proto dvou a více menších turbodmychadel, které jsou umístěny vně nebo mezi válci. [33, 34, 35]





- |                          |                            |                    |
|--------------------------|----------------------------|--------------------|
| 1-Vstup do kompresoru    | 4-Vstup do turbínové části | 7-Twin Scroll      |
| 2-Výstup z kompresoru    | 5-Výstup z turbínové části | 8-Axiální ložisko  |
| 3-Oběžné kolo kompresoru | 6-Turbína                  | 9-Radiální ložiska |

Obr. 15 Řez turbodmychadlem s technologií Twin Scroll [15]

## 1.6 COMPREX

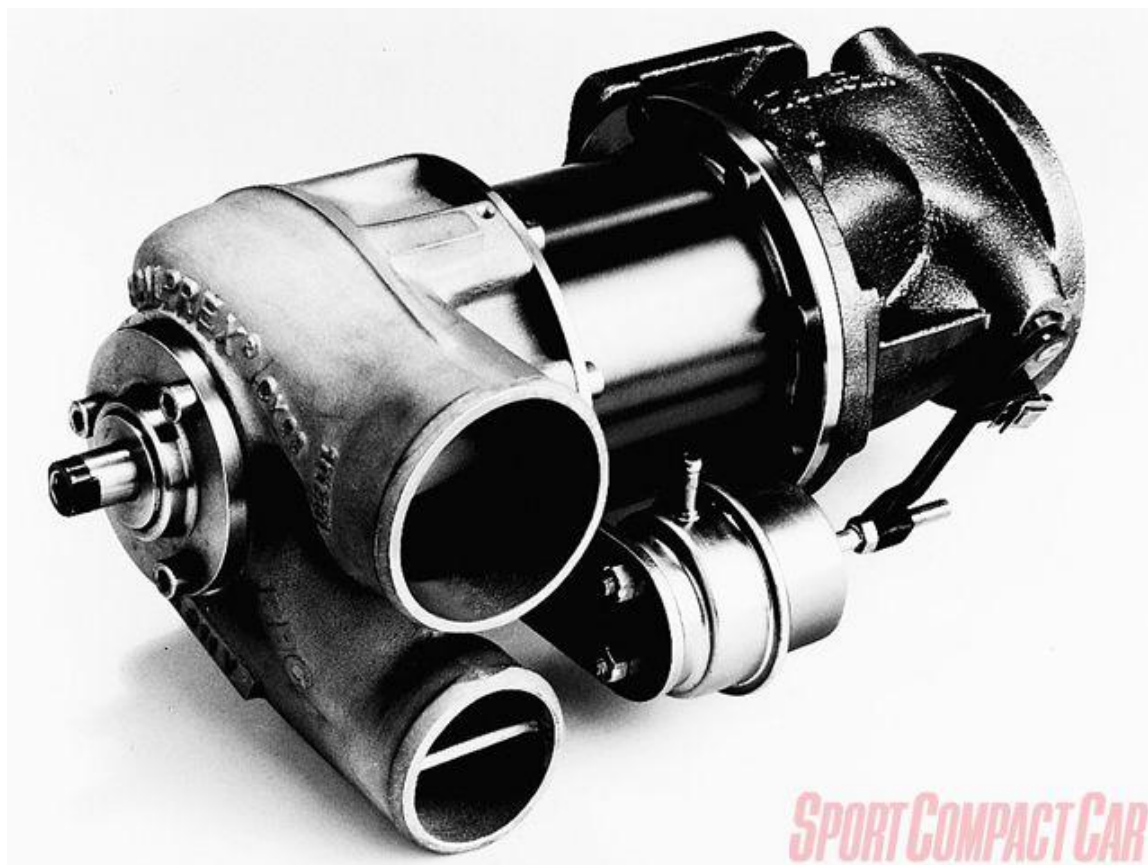
Comprex je obchodní označení systému přeplňování pracujícím s tlakovými vlnami. V zahraniční literatuře se můžeme setkat s označením Pressure-wave Supercharger (PWS) nebo Wave Rotor (WR). V tomto zařízení dochází k přenosu energie mezi dvěma tekutými médii přímým kontaktem v úzkých kanálcích, které nazýváme rotorové komory. Tyto stroje využívají fyzikálního faktu, kdy jsou dvě tekutiny o různých tlacích v přímém kontaktu, je vyrovnávání tlaků rychlejší, než mísení těchto tekutin.

### 1.6.1 HISTORIE

První zmínka pochází z roku 1940, kdy firma Brown-Boveri (BBC) experimentovala s lokomotivami poháněnými plynovými turbínami. Dále bylo v letech 1947-1955 úspěšně vyrobeno a otestováno několik kompresorů spolupracujících s naftovými motory. V 70-tých letech byly první prototypy osazeny na motory osobních a nákladních vozidel, traktorů a dokonce i buldozerů. V roce 1985 začalo masivní testování limitované edice vozu Opel Senator, tato vozidla byla vybavena naftovým motorem o objemu 2,3 litru, který byl přeplňován systémem Comprex. V roce 1987 se firmy ASEA a BBC sloučily do společnosti ABB a následně prodaly práva na systém Comprex Mazdě. Ta poté vyprodukovala 150000 naftových vozů Mazda 626 osazených tímto systémem (obr. 16). V roce 1994, kdy byla Mazda koupena Fordem, byl zastaralý a nevyvíjený systém PWS opuštěn. Všechna práva byla



přenechána firmě Caterpillar, ta ve spolupráci Comprex AG, již založili bývalí zaměstnanci BBC, použila PWS ve svých dieselových motorech za účelem snížení emisí. Nedávno byl systém Comprex použit u benzínových motorů za účelem testování jeho prospěšnosti pro snižování spotřeby paliva a vylepšení výkonových parametrů těchto motorů. V současné době je nejznámější firmou pracující na vývoji PWS Swissauto Engineering. Jejich nová generace vlnového rotoru má obchodní název Hyprex a je konstruována pro malé benzínové motory.



*Obr. 16 Jednotka systému Comprex použitá ve voze Mazda 626 [16]*

### 1.6.2 KONSTRUKCE A PRINCIP

Comprex nebo taky kompresor pracující s tlakovými vlnami se skládá se z těchto částí. Válcová komora uvnitř, které je rotor s pracovními komorami, jenž je prostřednictvím ozubeného řemene poháněn od klikové hřídele motoru. Abychom zabránili úniku tlaku, je vůle mezi rotorem a statorem co nejmenší. Otáčky rotoru kompresoru jsou 4 krát až 5 krát vyšší než otáčky motoru. Válcová komora je na každé straně uzavřena dvěma porty, jež slouží k přivádění či odvádění okolního vzduchu a spalín. Hlavní rozdíl oproti turbodmychadlu je ten, že nasávaný vzduch není nijak fyzicky oddělen od výfukových plynů a i přesto je množství výfukových plynů, které proniknou zpět do sacího potrubí velmi malé. Energie odebírána motoru prostřednictvím řemenu je taktéž velmi malá a slouží pouze k překonání třecích ztrát.

Pro vysvětlení jak Comprex funguje, budeme sledovat jednu pracovní komoru v rozvinutém schematickém zobrazení rotoru kompresoru během vykonávání jednoho cyklu.(obr. 17)



Na začátku (nahore) je pracovní komora naplněna vzduchem, jenž má přibližně atmosférický tlak a teplotu. Jakmile komora mine hranu vstupního výfukového portu (3), začne díky rozdílu tlaku nasávaného vzduchu a výfukových plynů, proces vyrovnávání tlaků. Ten generuje tlakovou vlnu, která putuje komorou rychlostí zvuku k sacímu potrubí. Vektor rychlosti vlny  $w$  skládající se z vektorů rychlosti zvuku  $a_1$ , rychlosti media  $c_1$  a obvodové rychlosti rotoru  $u$ , se odklání od osy otáčení rotoru, tak jak můžete vidět na obrázku pod schématem. Tlaková vlna putující tímto způsobem skrz pracovní komoru stlačuje nasátý vzduch uvnitř komory a akceleruje jej směrem k výstupnímu portu sacího potrubí. Výfukové plyny, které následují tlakovou vlnu, mají mnohem menší rychlost, než vlna samotná. Na obrázku 17 jsou výfukové plyny vybarveny červenou barvou, hranice mezi nasávaným vzduchem a výfukovými plyny je označena tečkovanou čarou. Kompresi vzduchu končí, když pracovní komora dosáhne hrany výstupního portu sacího potrubí. Vyrovnávání různých stavů media (tlak, hustota), mezi sacím a výfukovým potrubím má za následek vytvoření druhé tlakové vlny, která putuje komorou zpět a přitom stlačuje a zpomaluje obsah komory.

Tlaková vlna putující zpět komorou dosáhne konce rotoru právě v okamžiku, kdy se zavírá vstupní výfukový port. Jelikož je ale v tomto okamžiku sací výstupní port otevřen, tak výfukové plyny díky jejich setrvačnosti stále proudí proti tlakové vlně. Toto vede k velkému podtlaku v právě uzavřeném konci buňky u výfukového potrubí a generuje expanzní vlnu. Tato vlna snižuje rychlost a tlak media v komoře, který je ovšem stále vyšší než tlak ve výstupním portu výfukového potrubí 4.

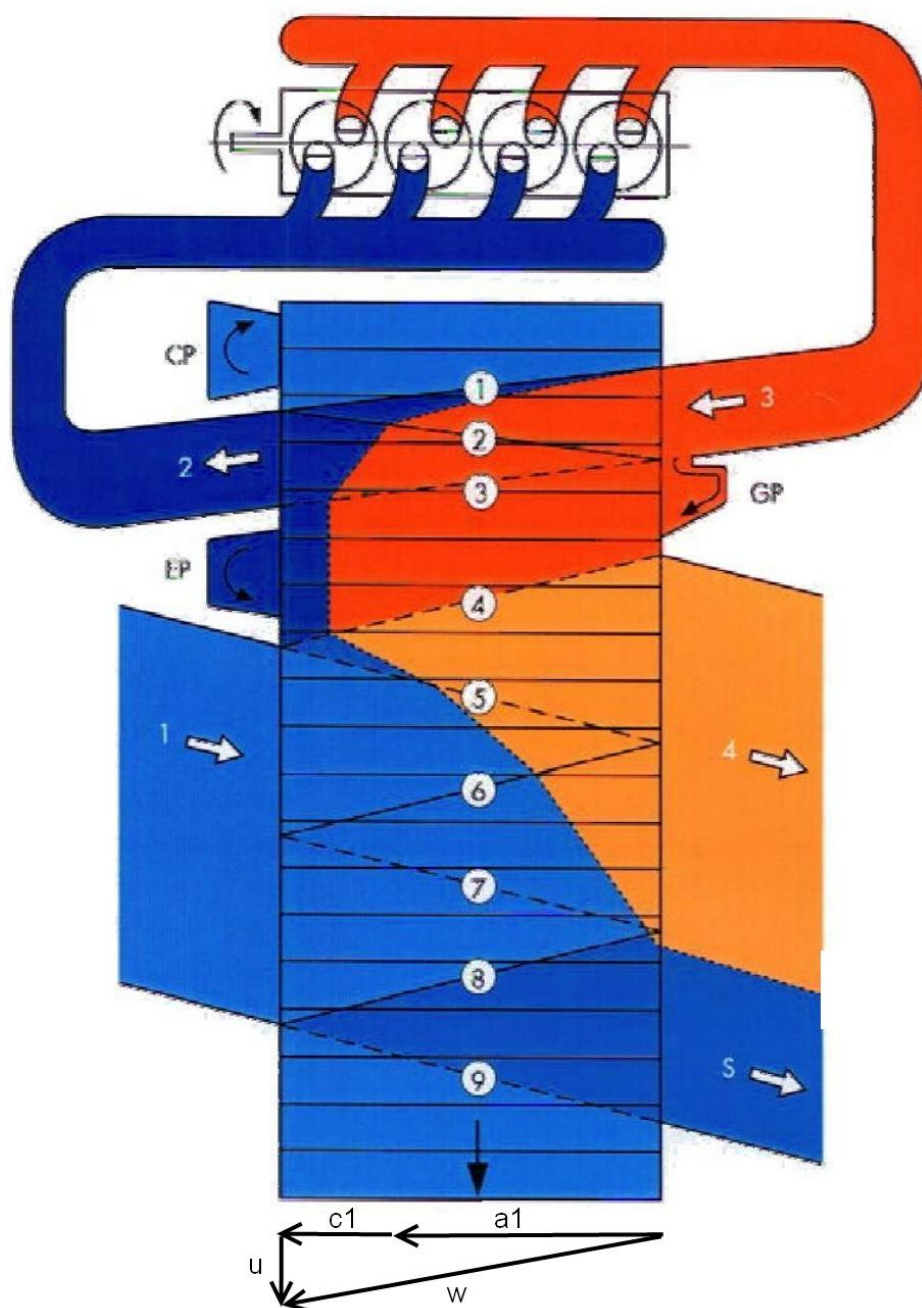
Když pracovní komora mine hranu výstupního portu výfukového potrubí, vytvoří se díky rozdílu tlaků mezi komorou a výstupním výfukovým potrubím silná expanzní vlna, která putuje směrem k sacímu potrubí. Tlak uvnitř komory se přitom snižuje na tlak ve výstupním výfukovém potrubí a obsah komory je díky tomu akcelerován směrem k výstupnímu portu výfukového potrubí. Jakmile expanzní vlna dosáhne sání, tak pracovní komora mine hranu vstupního portu sacího potrubí. Díky ztrátě tlaku ve vzduchovém filtru se vytvoří podtlak v sacím potrubí. Následkem toho se vytvoří další expanzní vlna, která zpomalí obsah komory.

Navzdory dalšímu zpomalení obsahu komory tlakovými vlnami (6), (8) a expanzními vlnami (7), (9) (při otevření obou konců rotoru jsou expanzní vlny odražené jako tlakové vlny a tlakové vlny jsou odražené jako expanzní vlny) byla původní expanzní vlna (4) dostatečně silná pro vyprázdnění veškerého obsahu pracovní komory a taky pro nasátí určitého množství vzduchu k vypláchnutí komory. Tento vzduch chladí rotor a zajistí kompletní naplnění komory čerstvým vzduchem před započatím nového cyklu.

Celý tento proces se opakuje dvakrát za jedno otočení rotoru a trvá 3 až 6 milisekund při jmenovitých otáčkách. Tento proces dokáže fungovat pouze za ideálních podmínek. Rychlost tlakových vln závisí na teplotě výfukových plynů (EGT), která kolísá s točivým momentem a ne s otáčkami.

Abychom zvětšili provozní rozsah většiny motorů, byly na sací a výfukovou stranu přidány speciálně navržené komory. Tyto komory jsou umístěny v krycích přírubách rotoru a umožňují vytváření nových tlakových vln pro modifikaci stávajících vln. Toto nám umožňuje řídit proces vytváření tlakových vln v širokém rozsahu zatížení a rychlostí. Na straně sacího potrubí jsou dvě komory. Kompresní komora (CP), která stabilizuje proces při nízkých rychlostech a expanzní komora (EP), která ve spolupráci s regulační komorou (GP) zajišťuje dostatečný výplach v celém provozním pásmu.





- |                             |                       |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1-Vstup čerstvého vzduchu   | S-Vyplachovací vzduch |
| 2-Výstup stlačeného vzduchu | CP-Kompresní komora   |
| 3-Vstup výfukových plynů    | EP-Expanzní komora    |
| 4-Výstup výfukových plynů   | GP-Regulační komora   |

Obr. 17 Rozvinuté schéma práce jedné pracovní komory [17]



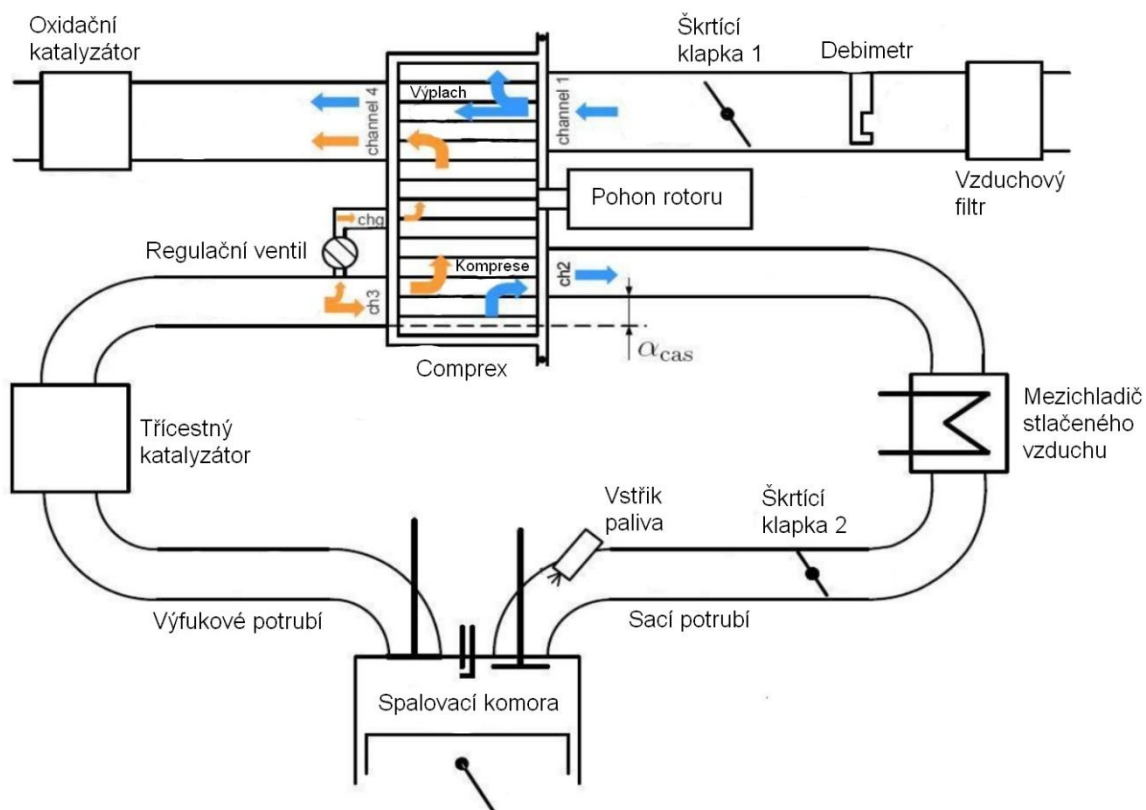


### 1.6.3 Použití

Moderní aplikace PWS pro automobilový průmysl dovolují měnit úhel mezi sacími a výfukovými porty. Tato přídatná funkce zajišťuje stabilní chování systému za nepříznivých podmínek, které se mohou objevit například během studených startů. Rychlost rotoru může být řízena za pomoci elektromotoru nezávisle na otáčkách agregátu. Při ustálené jízdě spotřebuje tento elektromotor méně než 150 W. Celý systém (obr. 18) se pak skládá z PWS, zážehového motoru, dvou škrtkicích klapek a dvou katalyzátorů. V režimu kdy pracuje se vzduchem o atmosférickém tlaku je motor řízen škrtkicí klapkou 2, při přeplňování je škrtkicí klapka 2 plně otevřená a jako regulátor slouží ventil regulační komory.

V zásadě můžeme přeplňování tlakovými vlnami rozdělit do dvou hlavních částí: vysokotlaké a nízkotlaké. V prvním případě je energie výfukových plynů v kanálu 3 použita ke stlačení nasátého vzduchu proudícího do kanálu 2. Odvádění části výfukových plynů skrz ventil regulační komory snižuje tlak výfukových plynů v kanálu 3 a s tím se snižuje komprese nasávaného vzduchu v kanálu 2. Současně však výfukové plyny odvedené tímto ventilem zvyšují tlak v pracovní komoře těsně předtím, než v ní začne nízkotlaká část, což zlepšuje vyprazdňování. Cílem nízkotlaké části je vyprázdnit komoru do kanálu 4 a poté ji znovu naplnit čerstvým vzduchem z kanálu 1.

Za normálních okolností není kanál 4 naplněn pouze výfukovými plyny, ale taky stlačeným vzduchem, který nestačil odtéci do kanálu 2. Tento vzduch nazýváme vyplachovací vzduch. Jeho množství může být zmenšeno, snížením tlaku v kanálu 1. Toto snížení má za následek zvýšení teploty v kanálu 4, což zlepšuje oxidační podmínky v katalyzátoru. [36, 37, 38]



Obr. 18 Schematické zobrazení systému Compress spolupracujícím se soudobým zážehovým motorem [18]





## 2 REGULACE PŘEPLŇOVACÍCH SYSTÉMŮ

V této kapitole si popíšeme základní druhy regulace přeplňovacích systémů. Regulátory budou rozděleny do dvou skupin, první zahrnuje regulátory, které přímo ovlivňují výkon a chod motoru. V další skupině budou popsány regulátory, které omezují některé nežádoucí jevy.

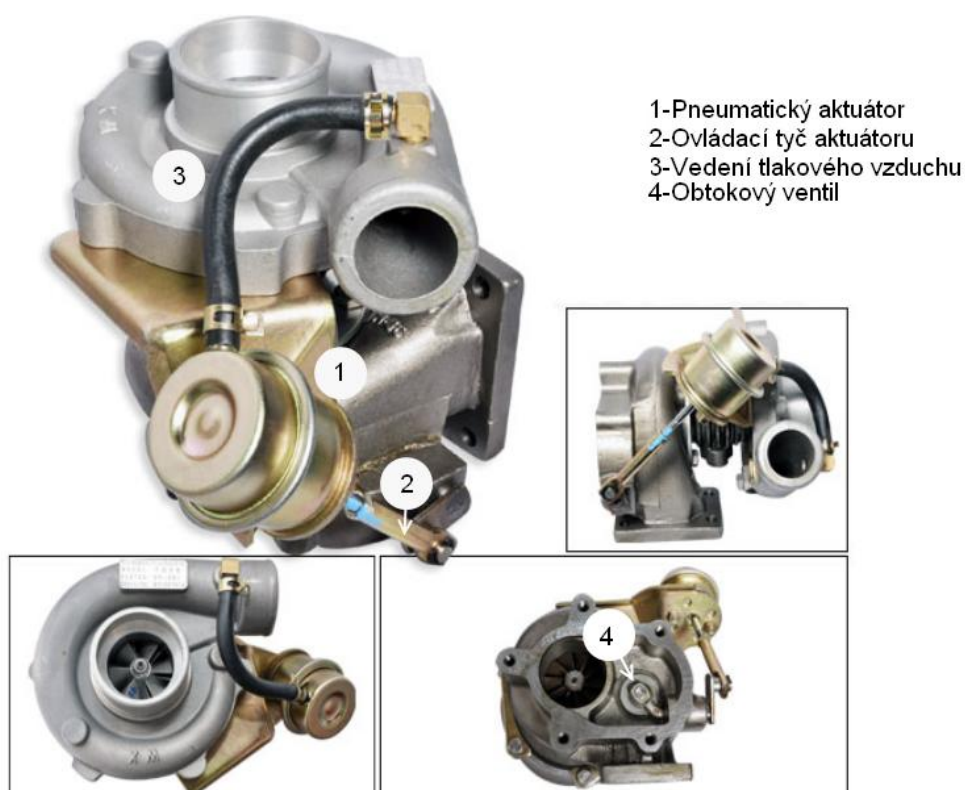
### 2.1 OBTOKOVÝ VENTIL (WASTEGATE)

#### 2.1.1 KONSTRUKCE A PRINCIP

Obtokový ventil slouží k vypouštění přebytečných výfukových plynů. S rostoucími otáčkami motoru se zvyšuje tlak a rychlost výfukových plynů, ty adekvátně tomu roztáčí výfukové kolo a zvyšuje se tlak v sání. Vstřikovače paliva jsou konstruovány na určitý maximální průtok a se zvyšujícím se tlakem vzduchu v sání by mohly přestat dodávat optimální množství paliva. To by mělo za následek spalování chudé směsi, která má vyšší teplotu hoření, což v extrémních případech znamená např. propálení pístu. Dle umístění obtokového ventilu rozlišujeme wastegate interní a externí. Wastegate se v různých modifikacích používá u mnoha typů přeplňovacích systémů, my si popíšeme pneumaticky ovládanou variantu při spojení s turbodmychadlem.

#### INTERNÍ

Obtokový ventil a jeho ovládání je instalováno na skříni turbodmychadla. Na kompresorové části je aktuátor a vedení tlakového vzduchu. Uvnitř aktuátoru je membrána, která tlačí na pružinu a ta přes stavitelnou tyč ovládá klapku, která je umístěna v turbínové části. Změnou tuhosti pružiny můžeme regulovat maximální tlak vyvinutý turbodmychadlem.



Obr. 19 Umístění interní wastegate na turbodmychadlu [19]



## EXTERNÍ

Externí wastegate je umístěna až za skříní turbodmychadla. Pracuje na stejném principu jako interní. Rozdíl spočívá v tom, že membrána tlačící na pružinu je přímo napojena na obtokový ventil. Výfukové plyny se mohou vracet buď zpět do výfukového potrubí, nebo mohou být vypouštěny přímo do atmosféry přes tzv. screamer pipe. Druhá jmenovaná varianta se používá pouze pro závodní účely, jelikož porušuje hlukové a emisní normy. Hlavní výhodou externí wastegate spočívá v její snadné optimalizaci pro různé plnicí tlaky. Sami výrobci dodávají pružiny o různých tuhostích pro dané tlaky. V katalozích tak můžeme najít pružiny pro 1, 1,2 atd. baru. Toto je maximální plnicí tlak, kterého můžeme dosáhnout. Ten můžeme přesněji nastavit regulátory plnicího tlaku. Rozeznáváme MBC (Manual boost controller) a EBC (Electronic boost controller), tlak si tedy můžeme navolit manuálně otočením kolečka, nebo elektronicky nastavením požadované hodnoty na displeji.



*Obr. 20 Externí wastegate a její komponenty [20]*

### 2.1.2 DRUHY OVLÁDÁNÍ OBTOKOVÉHO VENTILU

#### MANUÁLNÍ

Manuální ovládání wastegate je používáno u malých letadel pro kompenzaci nadmořské výšky. Například u letadla Rockwell 112TC je obtokový ventil napojen přímo na páku plynu. S přidáním plynu se ventil uzavírá. Dříve byla wastegate ovládána samostatně. Jestliže pilot při stoupání zaznamenal pokles tlaku v sání, upravil polohu ventilu na požadovaný tlak.



## PNEUMATICKÉ

Pneumatické ovládání obtokového ventilu je nejvíce rozšířené pro svou jednoduchost a spolehlivost. Používá se u všech typů vozidel. Regulace spočívá v přivedení kompresorem stlačeného vzduchu do válcové nádoby ve, které je membrána či píst spojený s ventilem a šroubovitá tlačná pružina. Za nízkého tlaku je síla působící od pružiny větší než síla působící na píst od stlačeného vzduchu a ventil zůstává zavřený. Se zvětšujícím se tlakem je pružina stlačována a ventil se otvírá.

## HYDRAULICKÉ

Hydraulické ovládání obtokového ventilu je používáno u moderních letadel s přeplňovanými motory. Jako ovládací medium je namísto stlačeného vzduchu použit motorový olej. Systémy od firem Lycoming Engines a Teledyne Continental Motors pracují na podobném principu. Na rozdíl od pneumatického ovládání, kde pružina ventil zavírala, je zde použito řešení kdy pružina obtokový ventil otevírá a tlakový olej ventil zavírá. Za výstupem oleje z aktuátoru je umístěno čidlo, které v závislosti na tlaku okolního vzduchu kontroluje jaké množství oleje se z wastegate vrací zpět do motoru. Se stoupající letovou hladinou čidlo ve spolupráci s řídicím členem přivírá výstup oleje z aktuátoru, čímž zvyšuje otáčky turbodmychadla a zajišťuje stálý výkon motoru.

### 2.1.3 POUŽITÍ

Pneumaticky ovládaný obtokový ventil najdeme v současné době v různých modifikacích prakticky ve všech produkčních přeplňovaných vozech. Jedná se o velmi jednoduché a spolehlivé zařízení. [39]

## 2.2 VARIABILNÍ GEOMETRIE LOPATEK TURBODMYCHADLA

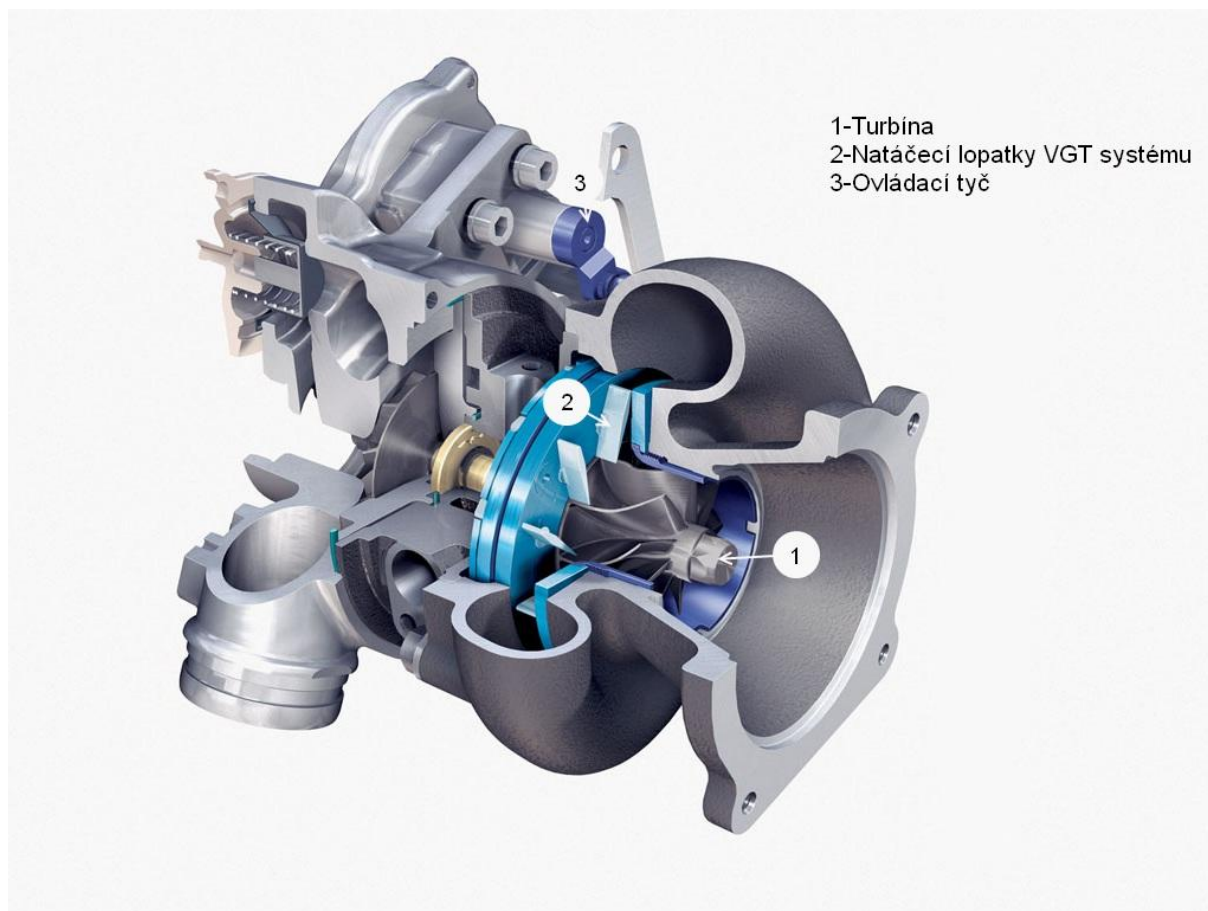
Další možností jak regulovat tlak v sání přeplňovaných motorů je regulace pomocí variabilní geometrie lopatek turbodmychadla. Technologie je v zahraniční literatuře označována jako Variable geometry turbocharger (VGT) nebo taky Variable nozzle turbine (VNT). Díky polohovatelným klapkám, které jsou umístěny po obvodu turbínové skříně můžeme usměrňovat proud spalín a tím regulovat rychlost otáčení turbíny v širokém rozmezí otáček.

### 2.2.1 KONSTRUKCE A PRINCIP

V současné době jsou v sériové výrobě používány dva základní typy konstrukčního řešení variabilní geometrie turbodmychadla.

První používá například firma Honeywell. Na obvodu skříně turbíny jsou na otočném čepu umístěny lopatky, jež usměrňují tok plynů otáčením kolem své osy. V poloze uzavřeno proudí výfukové plyny o nízkém tlaku úzkou mezerou mezi lopatkami, což zvyšuje jejich rychlost a zároveň klapky pod optimálním úhlem směřují tok výfukových plynů na lopatky turbíny. Tento stav je výhodný pro nízké otáčky motoru i turbodmychadla. Se zvyšujícími se otáčkami tlak a rychlost výfukových plynů roste a lopatky se postupně přestavují do polohy otevřeno a neomezují tím tok výfukových plynů na turbínu. Tento systém měnitelné geometrie lopatek je používán spíše u menších motorů osobních automobilů.



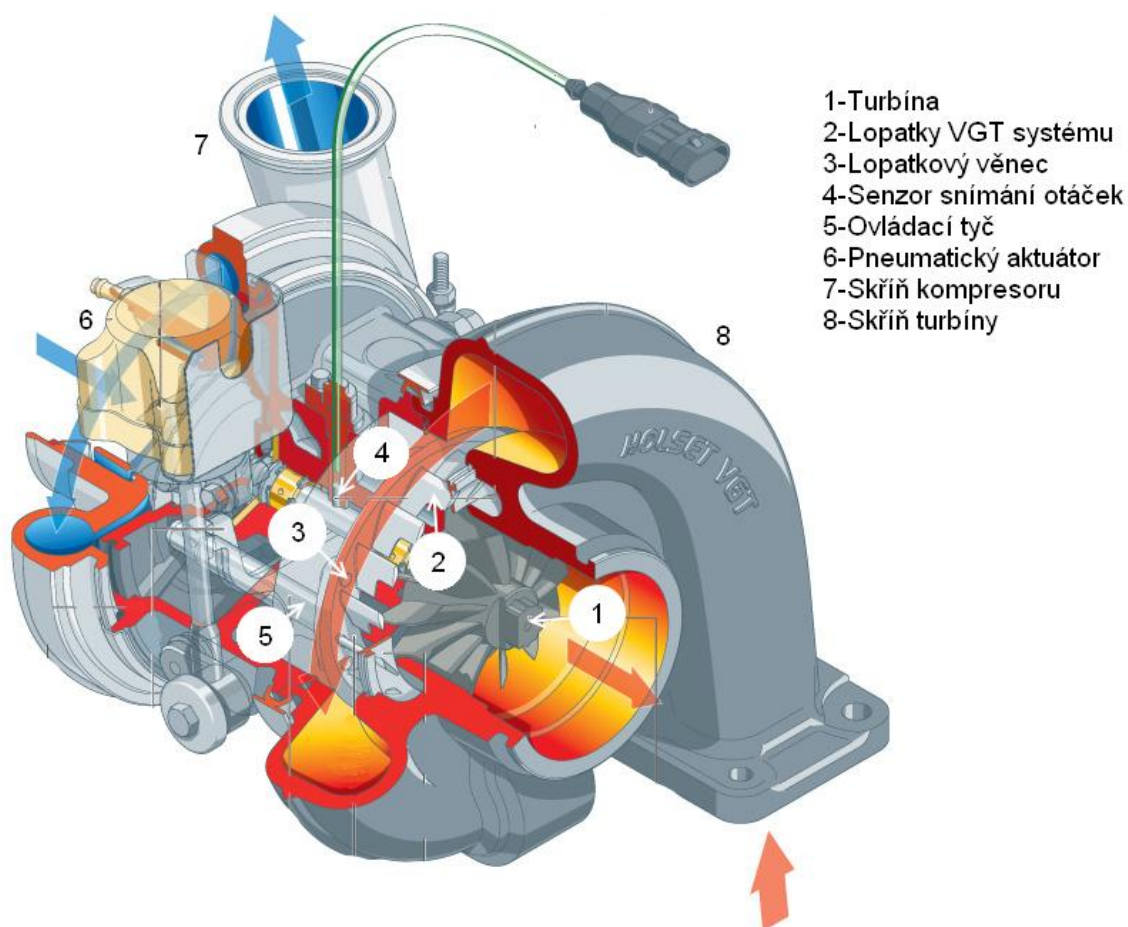


Obr. 21 Řez turbodmychadlem s VGT technologií od fy Honeywell [21]

Druhý přístup má patentovaný firma Holset. Lopatky jsou v tomto případě upevněny na věnci, který je mimo prostor skříně turbíny, celý věnec pak koná pouze posuvný pohyb ve směru osy turbíny. V poloze uzavřeno jsou lopatky plně vsunuty do skříně turbíny a zvyšují tím rychlost výfukových plynů a turbíny. V poloze otevřeno, jsou lopatky vysunuty ze skříně turbíny, což snižuje rychlost plynů i rotoru turbíny. Poloha uzavřeno se používá pro malé otáčky motoru, kdy potřebujeme zvyšovat plnicí tlak, poloha otevřeno naopak pro vyšší otáčky, kdy plnicí tlak potřebujeme omezit. Tento systém je používán u velkých motorů nákladních automobilů, je jednodušší, levnější a spolehlivější než výše zmíněná technologie.

### 2.2.2 Použití

Proměnná geometrie lopatek se používá především u vznětových motorů, kde jsou nižší teploty hoření směsi a namáhání mechanismu ovládání lopatek je tak výrazně menší než u motorů zážehových. Spolu s vývojem stále kvalitnějších materiálů však můžeme v poslední době zaznamenat použití této technologie i u motorů spalujících benzín. Turbodmychadlo s proměnnou geometrií lopatek všeobecně rozšiřuje pásmo využitelných otáček přeplňovaného motoru a má kladný vliv na spotřebu paliva. Hospodárnost provozu je otázkou, u některých systémů, především pak u natáček lopatek může dojít vlivem usazování karbonu k jejich zatuhnutí, což přidává další náklady nutné k opravě této závady. [40, 41, 42,44]



Obr. 22 Řez turbodmychadlem s technologií VGT od firmy Holset [22]

## 2.3 UPOUŠTĚCÍ VENTIL

Upouštěcí ventil, v anglicky mluvících zemích označovaný jako Blow off valve (BOV) patří do skupiny regulátorů, které předcházejí některým nežádoucím jevům. V tomto případě se jedná o jev označovaný jako Compressor surge.

### 2.3.1 KONSTRUKCE A PRINCIP

Jedná se o tlakovou vlnu, která vzniká u zážehových motorů při náhlém ubrání plynu, např. při řazení rychlostí. Při přecházení rychlostních stupňů u klasických manuálních převodovek je nutno sundat nohu z plynu a poté přeřadit, v důsledku toho dochází k částečnému, či úplnému uzavření škrtící klapky. Oběžné kolo kompresoru ale disponuje jistou setrvačností a tak stále, i přesto že je škrtící klapka uzavřena, nasává a stlačuje vzduch. Tento vzduch by za normálních okolností putoval do válců, v cestě má ale nyní překážku v podobě uzavřené škrtící klapky a tak v místě sání mezi kompresorem a klapkou vzniká výrazný přetlak. Tento přetlak působí na oběžné kolo dmychadla, způsobuje snižování rychlosti kola a vzhledem k rázovému charakteru má negativní vliv na životnost ložisek kompresoru. Právě tomuto jevu předchází upouštěcí ventil. Je napojen na sací trakt a jakmile jeho řízení zaznamená nežádoucí zvýšení tlaku v sání, ventil se otevře a upustí stlačený vzduch.



Vzduch může být upuštěn do atmosféry, navrácen zpět do sacího potrubí, za škrtící klapku, nebo kombinace obou systémů. V sériové produkci se používá výhradně druhého zmíněného systému. Množství nasávaného vzduchu je změřeno hned za filtrem sání. Řídící jednotka (ŘJ) dodává palivo odpovídající změřenému množství vzduchu, jestliže vypustíme vzduch ze sání upouštěcím ventilem, ŘJ tento vzduch nemá jak zaznamenat a počítá s již změřeným množstvím. Tímto se vytvoří velmi bohatá směs a její spalování má za následek např. zvýšení emisí.



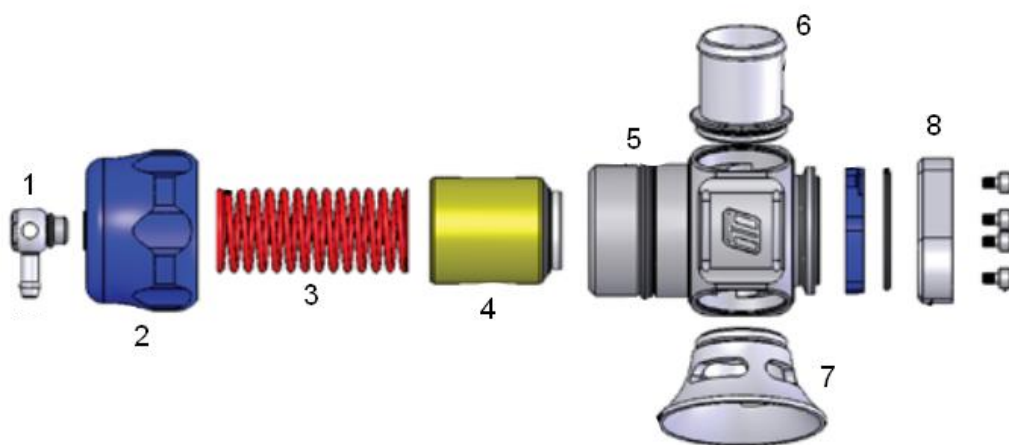
*Obr. 23 Základní typy upouštěcích ventilů, vlevo vypouštění do atmosféry, uprostřed vypouštění zpět do sacího potrubí, vpravo pak jejich kombinace [23]*

Upouštěcí ventily, jež vypouští vzduch do atmosféry, jsou vyhledávány zejména různými úpravci automobilů. Hlavním důvodem je zvýšení estetiky jejich vozů, tento druh BOV je totiž při své práci doprovázen charakteristickým zvukovým efektem.

Posledním systémem je kombinace obou zmíněných typů upouštěcích ventilů. Část vzduchu je navrácena zpět do sání a část je vypuštěna do atmosféry. Díky tomuto nedochází k tak velkému obohacení směsi a současně je zachován žádaný zvukový efekt.

Konstrukce upouštěcího ventilu je velmi podobná konstrukci obtokového ventilu, pracuje ale s jiným médiem a za podstatně nižších teplot. Jednotlivé komponenty jsou vyobrazeny na obr. 24. [23, 24]





1-Vstup ovládacího vzduchu  
2-Víko  
3-Pružina  
4-Píst

5-Tělo ventilu  
6-Výstup vzduchu do sání  
7-Výstup vzduchu do atmosféry  
8-Vstup přepouštěného vzduchu

Obr. 24 Konstrukce upouštěcího ventilu [24]

## 2.4 ANTI LAG SYSTEM (ALS)

ALS je systém řízení motoru, který předchází prodlevě při náběhu turbodmychadla. Typicky při brzdění před zatáčkou, kdy po jejím projetí potřebujeme ihned akcelarovat. ALS udržuje otáčky turbodmychadla při zavřeném plynu stále v optimální výši. Princip práce tohoto systému si popíšeme v následujících řádcích.

### 2.4.1 PRINCIP

Když řidič odlehčí pedál plynu, řídicí jednotka nastaví zážeh o 40 a více stupňů později, současně vstřikovací systém přidá více paliva pro bohatší směs. Škrtkovací klapka může být částečně otevřená. Při jejím úplném zavření přebírá funkci dodávky vzduchu do motoru paralelní potrubí, které obchází škrtkovací klapku. V důsledku toho je směs paliva se vzduchem ve spalovací komoře i přesto, že řidič sundal nohu z plynového pedálu. Díky opožděnému zapalování je zážeh proveden těsně předtím, než se začne otevírat výfukový ventil, zapálená směs tedy expanduje do výfukového potrubí, kde roztáčí turbodmychadlo. Současně s tím může u ještě nezažehnuté směsi dojít k zapálení po kontaktu s rozzhaveným výfukovým potrubím.



ALS regulujeme množstvím dodaného vzduchu do válců, čím více vzduchu dodáme, tím více bude efekt ALS patrný. Nastavení tohoto systému může být více nebo méně agresivní. Při jemném nastavení je dosahováno tlaku 0 až 0,3 baru v sacím potrubí. Pokud je tento systém neaktivní, může být tlak v sání při zavřené škrticí klapce až -1 bar. U závodního nastavení je možné dosáhnout tlaku až 1,5 baru při zavřené škrticí klapce.

#### **2.4.2 Použití**

Anti lag system je používán výhradně u závodních vozů a to hned z několika důvodů. ALS velmi výrazně snižuje životnost všech prvků ve výfukovém potrubí. Teplota stoupá k 1100°C, tlakové vlny velmi namáhají ložiska turbodmychadla. Pokud bychom chtěli ALS použít se sériovým výfukovým systémem, jeho životnost by se zkrátila na 50 až 100 km. Další nevýhodou je velmi vysoká hlučnost tohoto systému, současně dochází k vyšlehnutí plamenů z koncovky výfuku, což je pro normální provoz taktéž nepříjemné. V různých odvětvích motorsportu je však Anti lag system hojně využíván. [43]



### 3 VYUŽITÍ PŘEPLŇOVÁNÍ U SOUDOBÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

#### 3.1 VZNĚTOVÉ MOTORY

V současné době už téměř nenajdeme vznětový motor, který by nebyl přeplňovaný. Tento trend u osobních automobilů započal v devadesátých letech a to současně se zvedající se vlnou zájmu o použití naftových motorů v těchto vozech. Výrobci tak nabídli výkonnější variantu k v té době již zastaralým atmosférickým dieselům. Soudobé přeplňované vznětové motory používají prakticky ve všech případech turbodmychadlo, u některých vozů i s proměnnou geometrií lopatek. Výhodou tohoto systému je nízká hmotnost, kompaktní rozměry a také to, že neodebírá energii motoru, tak jako mechanická dmychadla, ale pracuje s nevyužitou energií ve výfukových plynech. Regulace pak probíhá za pomoci tlakového vzduchu a wastegate tak jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách. U některých současných motorů je množství tlakového vzduchu regulováno elektronicky, což řídicí jednotce umožňuje lepší a plynulejší řízení motoru.

Jak již bylo zmíněno, přeplňovaný vznětový motor má oproti stejně velkému atmosférickému vyšší výkon i točivý moment, přičemž spotřeba paliva zůstává na stejné úrovni, mnohdy je dokonce nižší. Na druhou stranu však nabízí menší rozsah využitelných otáček. Důkazem budiž známý motor 1.9 TDI výrobce Volkswagen, který díky prodlevě turbodmychadla začínal znatelně táhnout od 2000 otáček za minutu, přičemž už lehce nad 3000 ot/min začal motor uvadat a jeho další vytáčení nevedlo k očekávanému zrychlení a bylo spíše kontraproduktivní. Toto bylo obzvláště nepříjemné se špatně odstupňovanými převodovými stupni, kdy v průběhu předjížděcího manévru bylo nutné přezazovat na vyšší rychlosti.



*Obr. 25 Nový vznětový čtyřválec výrobce Mercedes Benz nabízí tři provedení o výkonu od 100 do 150 kW [25]*



Výrobci si jsou vědomi těchto nedostatků a neustále vylepšují např. VGT technologii, která zvyšuje rozsah použitelných otáček. U nejnovějších vysokovýkonných řadových čtyřválců pak používají kombinaci malého a velkého turbodmychadla. Nový čtyřválec výrobce Mercedes Benz dává ve své nejvýkonnější modifikaci z objemu 2,1 litru výkon 150 kW a točivý moment 500 N.m při zachování relativně širokého rozsahu použitelných otáček.

### 3.2 ZÁŽEHOVÉ MOTORY

U zážehových motorů je v poslední době velmi patrný trend zvaný downsizing. Jedná se o snižování objemu motorů, přičemž odebraný objem je kompenzován použitím přeplňování. Jde o následek tvrdé kampaně Evropské unie, která uvedla v platnost zákony nařizující výrobcům automobilů snížit do roku 2012 množství vypouštěného CO<sub>2</sub> na hodnotu 130 gramů na kilometr. I přes tato příkoří přináší downsizing leckterá pozitiva. Výrobci i přes zmenšující se objemy motorů, dovedou díky použití přeplňování a dalším technologiím, jejichž aplikace byla v minulosti nemyslitelná díky ceně a technické náročnosti, získat z motorů velmi zajímavé výkony. Reakce některých motorů na pohyb pedálu plynu je mnohem rychlejší než u starších atmosférických kolegů. Na druhou stranu, výrobci stavějí motory tak, aby vykazovaly dobrou spotřebu a produkci CO<sub>2</sub> při tzv. Evropském měřicím cyklu. Tento má však k podmínkám v reálném provozu velmi daleko. Rozdíl mezi spotřebou udanou výrobcem a reálnou spotřebou automobilu tak může být v některých případech velmi výrazný. Příkladem budiž vůz Škoda Yeti s motorem 1.8 TSI o výkonu 160 koní. V dlouhodobém testu časopisu AutoTIP dosáhl tento vůz průměrné spotřeby 12,1 l/100km a při využívání potenciálu motoru se tato hodnota vyšplhala dokonce k sedmnácti litrům. Tyto hodnoty spotřeby paliva odpovídají vozidlu Lexus LS 400 z devadesátých let s osmiválcovým atmosférickým benzínovým motorem o výkonu 280 koní a hmotnosti 1,8 tuny. Přičemž ve všech ohledech kromě hmotnosti a velikosti samotného agregátu hraje prim motor vozidla Lexus. Je tedy otázkou zdali můžeme o větší ekonomičnosti stávajících agregátů vůbec hovořit. [46, 47, 48]



## ZÁVĚR

Tato bakalářská práce popisuje přeplňovací systémy spalovacích motorů, především ty, jež se používají u osobních automobilů. V současnosti nejpoužívanějším systémem přeplňování je výfukové turbodmychadlo, nejdříve používané převážně u vznětových motorů a v poslední době se stále rostoucí aplikací u motorů zážehových. Je kompaktní, účinné a při správném používání a neodbytném konstrukčním návrhu celého systému nabízí i solidní životnost. Mezi další zástupce patří Rootsovo a Lysholmovo dmychadlo, jejich použití je v Evropě spíše okrajové a jsou jimi vybaveny např. některé modely výrobce Mercedes Benz. Dále můžeme u některých motorů výrobce Volkswagen narazit na kombinaci tohoto druhu mechanického dmychadla a turbodmychadla, kde spojení těchto systémů přeplňování nabízí širší spektrum využitelných otáček motoru. Velké oblibě se tato dmychadla spolu s dmychadlem odstředivým těší v USA, kde jsou používány v mnoha produkčních vozech. Zmíněna byla i G-dmychadla a systém Compres, těmto se i přes některé výhody nedostalo širšímu použití v osobních automobilech a dnes je řadíme spíše k raritám.

Dále pak shrnuje základní druhy regulace přeplňování. Největšímu rozšíření se spolu s turbodmychadly dostalo obtokovému ventilu neboli wastegate. Jedná se o jednoduchý a většinou spolehlivý systém, který je ovšem použitelný pouze s dmychadly pracujícími s výfukovými plyny. Prostor byl věnován taktéž proměnné geometrii lopatek turbodmychadla, jež rozšiřuje spektrum využitelných otáček dmychadla, přináší přesnější regulaci a zmírňuje zpoždění nástupu samotného dmychadla. Jeho použití bylo donedávna výsadou hlavně vznětových motorů, avšak s vývojem stále odolnějších materiálů dochází k aplikaci taktéž u některých zážehových motorů.

V současnosti, kdy je kladen velký důraz na ekologičnost provozu automobilů poskytuje přeplňování nejlevnější a nejsnazší cestu pro splnění přísných emisních norem, při zachování rozumné dynamiky samotných vozidel.





## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] *The Roots Blower* [online]. 2002-01 -18[cit. 2011-03-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.sdrm.org/roster/diesel/emd/history/roots.html>>

[2] *Weiland 142 Vorvec Root–Style Supercharger and Intake manifolds* [online]. 2005-10-5 [cit. 2011-03-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.holley.com/HolleyNews/Weiland%20142%20Vorvec%20Root-Style%20Supercharger%20and%20Intake%20manifolds.asp>>

[3,4] *Engine Performance Parts for the Mazda Millennia* [online]. 2009-04-25 [cit. 2011-03-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.superchargerperformance.com/supercharger-power-parts/engine-performance-parts-for-the-mazda-millennia>>

[5] *2010-2011 Camaro Supercharger Systems* [online]. 2010 [cit. 2011-03-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.superchargerperformance.com/supercharger-power-parts/engine-performance-parts-for-the-mazda-millennia>>

[6] *Compressors* [online]. 2008 [cit. 2011-03-14]. Dostupné z WWW: <<http://mysite.automotivecenter.nl/chrisgraat/home.htm>>

[7] *G60 - Photographic Rebuild* [online]. 2006 [cit. 2011-03-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.matey-matey.com/g60-rebuild-article.shtml>>

[8] *Vortech Superchargers* [online]. 2011[cit. 2011-03-14]. Dostupné z WWW: <[http://www.vortechsuperchargers.com/category\\_browser.php?level=1&ln=SUPERCHARGERS](http://www.vortechsuperchargers.com/category_browser.php?level=1&ln=SUPERCHARGERS)>

[9] *2003-2006 Dodge Viper SRT-10 Supercharger System* [online]. 2009 [cit. 2011-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.paxtonauto.com/product.php?id=124>>

[10] GRIFFEY, E. *Turbo Engine Tech 101 – What Is Wheel Trim and A/R Ratio* [online]. 2010-09-03 [cit. 2011-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://octanereport.com/tech/2010/09/03/turbo-engine-tech-101-what-is-wheel-trim-and-ar-ratio.html>>

[11] *Has anyone used a VTG turbo?* [online]. 2007-12-28 [cit. 2011-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.lotustalk.com/forums/f160/has-anyone-used-vtg-turbo-50174/>>

[12] *How a Turbo System Works* [online]. 2008 [cit. 2011-03-16]. Dostupné z WWW: <[http://justskylines.com/knowledgebase/turbo/turbo\\_tech\\_101\\_beginner.aspx](http://justskylines.com/knowledgebase/turbo/turbo_tech_101_beginner.aspx)>

[13] GRIFFEY, E. *Techlab #29* [online]. 2008-11-07 [cit. 2011-03-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.urbanracer.com/articles/anmvviewer.asp?a=3321>>

[14] *PDM Racing Nissan 240SX - Part 3* [online]. 2005 [cit. 2011-03-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.pdm-racing.com/features/240sx3.html>>





- [15] *Popis Turba* [online]. 2010-02-18 [cit. 2011-03-16]. Dostupné z WWW: <<http://eclipseclub.webnode.com/news/popis-turba1/>>
- [16] *Comprex Supercharger Mazda 626 Capella 2008* [cit. 2011-03-17]. Dostupné z WWW: <[http://www.modified.com/editors/0705\\_sccp\\_comprex\\_compressor\\_supercharger/photo\\_02.html](http://www.modified.com/editors/0705_sccp_comprex_compressor_supercharger/photo_02.html)>
- [17] *The Pressure Wave Process* [online]. 2006 [cit. 2011-02-26]. Dostupné z WWW: <[http://www.swissauto.com/uploadfiles/EN\\_200012.pdf](http://www.swissauto.com/uploadfiles/EN_200012.pdf)>
- [18] *HYPREX pressure wave charger* [online]. 2010 [cit. 2011-03-17]. Dostupné z WWW: <[http://www.swissauto.com/e/aufladung/projekt\\_detail.jsp?ID\\_Display=20000L](http://www.swissauto.com/e/aufladung/projekt_detail.jsp?ID_Display=20000L)>
- [19] [Http://2.bp.blogspot.com/-lucWj9KiYuc/TV-DuHskjBI/AAAAAAAAABzo/6z7pXu8yIF8/s1600/t25%2Bt28%2Bturbo%2Bwith%2B8%2Bpsi%2Binternal%2Bwaste%2Bgate.png](http://2.bp.blogspot.com/-lucWj9KiYuc/TV-DuHskjBI/AAAAAAAAABzo/6z7pXu8yIF8/s1600/t25%2Bt28%2Bturbo%2Bwith%2B8%2Bpsi%2Binternal%2Bwaste%2Bgate.png) [online]. 2010 [cit. 2011-04-20]. Dostupné z WWW: <<http://2.bp.blogspot.com/-lucWj9KiYuc/TV-DuHskjBI/AAAAAAAAABzo/6z7pXu8yIF8/s1600/t25%2Bt28%2Bturbo%2Bwith%2B8%2Bpsi%2Binternal%2Bwaste%2Bgate.png>>
- [20] *XSpeed Wastegates* [online]. 2010 [cit. 2011-04-20]. Dostupné z WWW: <[http://www.xspeed.com.au/shop/index.php?cPath=27\\_131](http://www.xspeed.com.au/shop/index.php?cPath=27_131)>
- [21] *Effects of Variable Geometry Turbochargers in Increasing Efficiency and Reducing Lag* [online]. 2007-05-12 [cit. 2011-04-20]. Dostupné z WWW: <<http://me1065.wikidot.com/variable-geometry-turbochargers>>
- [22] *Holset Variable Geometry Turbochargers* [online]. 2008 [cit. 2011-04-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.myholsetturbo.com/vgt.html>>
- [23,24] *How does a BOV work?* [online]. 2010 [cit. 2011-04-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.turbosmartonline.com/index.php?id=497>>
- [25] *New Mercedes 4-Cylinder Diesel Engine* [online]. 2011 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.worldcarfans.com/10804101590/new-mercedes-4-cylinder-diesel-engine>>
- [26] *Superchargers A-Z* [online]. 2003-02-26 [cit. 2011-03-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.superchargersonline.com/content.asp?ID=76>>
- [27] *Roots Type Superchargers Explained* [online]. 2002-04-05 [cit. 2011-03-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.superchargersonline.com/content.asp?id=22>>
- [28] HARRIS, W. *How Superchargers Work* [online]. 2006-01-24 [cit. 2011-03-06]. Dostupné z WWW: <<http://auto.howstuffworks.com/supercharger.htm>>
- [29] *Superchargers and Blowers* [online]. 2004 [cit. 2011-03-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.custom-car.us/superchargers/default.aspx>>
- [30] PATHAK, S. S. *The Enigmatic G-Charger* [online]. 1999-03 [cit. 2011-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://corradog60.tripod.com/g60info.html>>





- [31] ZELINKA, P. *Technika: G-dmychadlo* [online]. 2006-06-20 [cit. 2011-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://news.autoroad.cz/nezarazeno/12971-asdf/>>
- [32] *The Centrifugal Supercharger Explained* [online]. 2002-8-1 [cit. 2011-04-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.superchargersonline.com/content.asp?id=21>>
- [33] *Design and Function of a Turbocharger* [online]. 2002 [cit. 2011-04-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.turbodrive.com/en/turbofacts/designTurbine.aspx#top>>
- [34] WOOD, S., COTTON, J., S., C. *Ball Bearing and Ceramic Roller Bearing Turbos* [online]. 2005 [cit. 2011-04-18]. Dostupné z WWW: <<http://webpace.webring.com/people/lr/rad87gn/tech/bbturbos.html>>
- [35] PRATTE, D. *A Look at Twin Scroll Turbo System Design - Divide and Conquer?* [online]. 2009-03 [cit. 2011-04-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.modified.com/tech/modp-0906-twin-scroll-turbo-system-design/index.html>>
- [36] *Pressure-Wave Superchargers* [online]. 2007-09-25 [cit. 2011-02-25]. Dostupné z WWW: <<http://imagineauto.wordpress.com/2007/09/25/pressure-wave-superchargers/>>
- [37] SPRING, P. *Modeling and Control of Pressure-Wave Supercharged Engine Systems* [online]. 2006 [cit. 2011-02-27]. Dostupné z WWW: <<http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:28831/eth-28831-02.pdf>>
- [38] CHEN, J. *The Compex: The Other Compressor* [online]. 2007-05 [cit. 2011-02-26]. Dostupné z WWW: <[http://www.modified.com/editors/0705\\_sccp\\_compex\\_compressor\\_supercharger/index.html](http://www.modified.com/editors/0705_sccp_compex_compressor_supercharger/index.html)>
- [39] KNUTESON, R. *The Kelly Aerospace Turbocharger* [online]. 1997-10 [cit. 2011-04-20]. Dostupné z WWW: <[http://www.kellyaerospace.com/articles/KA\\_Turbocharger.pdf](http://www.kellyaerospace.com/articles/KA_Turbocharger.pdf)>
- [40] *Variable Geometry Turbos* [online]. 2006 [cit. 2011-04-21]. Dostupné z WWW: <[http://www.honeywell.com/sites/ts/tt/Medium\\_Heavy\\_Duty\\_Trucks3\\_C2ASGB2C88G4I61F0E0M5UDLHJH5I7CMM0812163602985\\_H72R0EVAKLD6FQX15SGLU68INR0GFR1650812164520395.htm](http://www.honeywell.com/sites/ts/tt/Medium_Heavy_Duty_Trucks3_C2ASGB2C88G4I61F0E0M5UDLHJH5I7CMM0812163602985_H72R0EVAKLD6FQX15SGLU68INR0GFR1650812164520395.htm)>
- [41] TAN, P. *How does Variable Turbine Geometry work?* [online]. 2006-07.16 [cit. 2011-04-21]. Dostupné z WWW: <<http://paultan.org/2006/08/16/how-does-variable-turbine-geometry-work/>>
- [42] *Cummins VGT Variable Geometry Turbocharger* [online]. 2008 [cit. 2011-04-21]. Dostupné z WWW: <[http://cumminsengines.com/every/misc/Technology/tier\\_4\\_vgt.page](http://cumminsengines.com/every/misc/Technology/tier_4_vgt.page)>
- [43] GEROGALLIDES, T. *How the turbo Anti-Lag System works* [online]. 2003 [cit. 2011-04-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.rallycars.com/Cars/bangbang.html>>
- [44] GORDON, J. *Variable Geometry Turbocharger* [online]. 2005-03 [cit. 2011-04-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.search-autoparts.com/searchautoparts/data/articlestandard//motorage/162005/156208/article.pdf>>



[45] BOLDIŠ, P. *Bibliografické citace dokumentu podle ČSN ISO 690 a ČSN ISO 690-2: Část 2 – Modely a příklady citací u jednotlivých typů dokumentu*. Verze 3.0 (2004). c 1999–2004, poslední aktualizace 11. 11. 2004. [cit. 2011-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.boldis.cz/citace/citace2.ps>>

[46] FREI, M. *Hybridy: Dvakrát měž, ale nevěř tomu* [online]. 2011-04-04 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.autoweb.cz/hybridy-dvakrat-mer-ale-never-tomu/>>

[47] *Jak se měří spotřeba paliva?* [online]. 2010-05-24 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.autoweb.cz/jak-se-meri-spotreba-paliva/>>

[48] *AutoTIP*. Č. 10 (květen 2011). Praha: Axel Springer, 2011. Vychází jednou za čtrnáct dní. ISSN 1210-1087